

**T.C.
BİNGÖL ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**TERMOELEKTRİK JENERATÖRÜ KULLANILARAK FARKLI
MALZEME VE BOYUTLARDA ISI YAYICILARI İLE BACA
GAZLARINDAN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
NİHAT TARHAN**

MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ

**TEZ DANIŞMANI
Prof. Dr. Cengiz ÖNER**

**İKİNCİ TEZ DANIŞMANI
Arş. Gör. Dr. Perihan ÇULUN**

BİNGÖL-2025

**TERMOELEKTRİK JENERATÖRÜ KULLANILARAK FARKLI MALZEME VE
BOYUTLARDA ISI YAYICILARI İLE BACA GAZLARINDAN ELEKTRİK
ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI**

Prof. Dr. Cengiz ÖNER danışmanlığında, Nihat TARHAN tarafından hazırlanan bu çalışma 06/01/2025 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans Tezi olarak **oybirliği (3/3)** ile kabul edilmiştir.

Başkan	:Prof. Dr. Cengiz ÖNER	İmza	:
Üye	:Prof. Dr. Şehmus ALTUN	İmza	:
Üye	:Doç. Dr. Adem YAR	İmza	:

Yukarıdaki sonuç;

Enstitü Yönetim Kurulunun// tarih ve/ nolu kararı ile onaylanmıştır.

Prof. Dr. Zafer ŞİAR
Enstitü Müdürü

Bu çalışma Bingöl Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi (BAP), kapsamında desteklenmiştir.

Proje No: BAP-MMF.2023.003

Not: Bu tezde kullanılan özgün ve başka kaynaklardan yapılan bildirişlerin, çizelge, şekil ve fotoğrafların kaynak olarak kullanımı, 5846 sayılı Fikir ve Sanat Eserleri Kanunundaki hükümlere tabidir.

ÖNSÖZ

Bu tez çalışmamda yardımlarını ve bilgi birikimini esirgemeyen, çalışmaların tamamlanabilmesi için gerekli desteği veren değerli danışman hocalarım Prof. Dr. Cengiz ÖNER ve Arş. Gör. Dr. Perihan ÇULUN'a teşekkürü borç bilir saygı ve şükranlarımı sunarım. Ayrıca tez için gerekli cihaz ve sarf malzemelerin Bingöl Üniversitesi - Bilimsel Araştırma Projeleri Birimi, BAP-MMF.2023.003 nolu proje kapsamında cihaz tedarikini sağlayan ilgili birim personeline teşekkür ederim.

Tez deneyleri esnasında Bingöl Et Süt Kurumumuzda yürütülen çalışmalarda sağladıkları kolaylık ve yardımlar için değerli çalışma arkadaşlarım ve kurum müdürlerine teşekkür ederim.

Son olarak bende büyük emekleri olan, benim için hiçbir fedakârlıktan kaçınmayan ve dualarını esirgemeyen kıymetli anne, babama ve can parçam kardeşlerime ve hayatımın her anında gösterdikleri sabır, fedakârlık ve desteklerinden dolayı sevgili eşime ve biricik kızım Serra TARHAN'a teşekkürü bir borç bilirim.

Nihat TARHAN

Bingöl 2025

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ	iv
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	vi
TABLolar LİSTESİ.....	viii
ÖZET	viii
ABSTRACT	ix
1.GİRİŞ	1
2. KAYNAK ÖZETLERİ	5
2.1. TEM'lerin Kullanıldığı Farklı Uygulama Alanları.....	5
2.2. TEM Modüllerin Kullanılabileceği Alternatif Alanlar	14
3.TERMoeLEKTRİK JENERATÖRLERİN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ	15
3.1. Termoelektrik Etki ve Tarihçesi	15
3.1.1. Seebeck Etkisi.....	15
3.1.2. Peltier Etkisi.....	16
3.1.3. Thomson Etkisi.....	16
3.2. Termoelektrik Jeneratörler	17
4. MATERYAL VE YÖNTEM.....	20
4.1. Kullanılan TEM'ler ve Özellikleri.....	20
4.2. Deney ve Kontrol Gurubu Parametre Tanımları	22
4.3. Yapıştırma ve Montaj İşlemleri.....	25
4.4. Deney Düzenekinin Kurulması.....	26
4.5. Elektriksel Denklemler.....	28

5. BULGULAR VE TARTIŞMA.....	29
5.1. Yayıcı Boyutları ve Mesafesinin (p ve k) Etkisi.....	29
5.1.1. 62mm Yayıcı etkisi.....	29
5.1.2. 75mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilimlerinin Etkisi (p = k = 75mm).....	32
5.1.3. 75mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilimlerinin Etkisi (p = k = 130mm)....	34
5.1.4. 75mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilimlerinin Etkisi (p = k = 160mm)....	36
5.1.5. 80x80mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi.....	38
5.1.6. 120x120 mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi (p = k = 120mm)...	39
5.1.7. 120x120 mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi (p = 200, k = 140mm).....	41
5.1.8. 140x140mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi (p = k = 140mm)....	43
5.1.9. 140x140mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi	44
5.1.10. 250x600mm Boyutlu Ortak Yayıcı Etkisi	46
5.1.11. 250x600mm Boyutlu Ortak Yayıcı Etkisi (2 adet yayıcı)	47
5.1.12. Yayıcı Boyut ve Farklı Düzenlerinin Sonuçlara Etkisinin Özeti.....	49
5.2. Farklı TEM Modül Etkisi	50
6. SONUÇLAR VE ÖNERİLER	52
6.1. Sonuçlar.....	52
6.2. Öneriler.....	54
KAYNAKLAR.....	55
EKLER.....	58
Ek 1. Sıcaklık Sensörleri ve Elektrik Bağlantıları.....	58
Ek 2. TEG Sistemi Hazırlık Aşaması	58
Ek 3. Deney Hazırlık Aşamaları.....	59
Ek 4. Deney ve Kontrol Gurubu Diğer Örnekler	59
Ek 5. Doğalgaz Kazan Görüntüleri.....	60

SİMGELER VE KISALTMALAR LİSTESİ

TEM	:Termo Elektrik Modül
TEG	:Termo Elektrik Jeneratör
TEC	:Termo Elektrik Soğutucu, Peltiyer
PV	:Fotovoltaik panel
PVT	:Fotovoltaik-Termal Panel
PVT/TEG	:TEG entegreli fotovoltaik termal panel
PCM	:Faz değişim mazemesi
H	:Yayıcı boyutu(mm)
p	:Modüller arası X yönündeki mesafe(mm)
k	:Modüller arası Y yönündeki mesafe(mm)
t	:Yayıcı kalınlığı(mm)
Δ	:Sıcaklık farkı
V	:Voltaj(mV)
I	:Akım(mA)
P	:Güç(mW)
$V_{\max}$	:Maksimum voltaj(V)
$I_{\max}$	:Maksimum akım(A)
Rac	:Modül Direnci (Ω)
I_d	:Deney gurubu akım değeri(mA)
V_d	:Deney gurubu voltaj değeri (mV)
p	:Yarı iletkenlerin pozitif yükleri
n	:Yarı iletkenlerin negatif yükleri
K	:Termo elektrik çiftin ısı iletim katsayısı(W/m^2K)

R	:Termoelektrik çiftin elektrik direnci(Ω)
Z	:Yarı iletken malzemelerin termo elektrik verim katsayıları
P_d	:Deney gurubu güç değeri (mW)
V_k	:Kontrol gurubu voltaj değeri(mV)
I_k	:Kontrol gurubu akım değeri (mA)
P_k	:Kontrol gurubu güç değeri(mW)
V_A	:Voltaj artış oranı(%)
I_A	:Akım artış oranı(%)
P_A	:Güç artış oranı (%)
T_1	:Deney gurubu kazan yüzey sıcaklığı
T_2	:Kontrol gurubu kazan yüzey sıcaklığı
T_3	:Deney gurubu kanat sıcaklığı
T_4	:Kontrol gurubu kanat sıcaklığı
DC	:Doğru akım
AC	:Alternatif akım
ΔT_d	:Deney gurubu kazan ve kanat sıcaklık farkı
ΔT_k	:Kontrol gurubu kazan ve kanat sıcaklık farkı
Q_h	:Peltiyer Sıcak taraftan yayılan ısı
Q_c	:Peltiyer soğuk taraftan emilen ısı
T_h	:Peltiyer sıcak taraf sıcaklığı
T_c	:Peltiyer soğuk taraf sıcaklığı
σ	:Elektrik iletim katsayısı
T	:Ortalama mutlak sıcaklık

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil 2.1.	TEG'lerin soğutulmasında LPG yakıtının kullanılması.....	7
Şekil 2.2.	TEG modüllerinin sesüstü araçlarda kullanılması (Wang et al. 2023).....	9
Şekil 2.3.	TEG Soğuk tarafı ve kanat uygulaması a) Ochieng vd. (2022), b) Khalil ve Hassan, (2019).....	10
Şekil 2.4.	TEG'in baca gazlarında kullanılması (Jang ve Tsai, 2013)	11
Şekil 2.5.	Eşanjör borularının TEG ile kaplanması (Demir ve Dinçer, 2017).....	11
Şekil 2.6.	Sıvılaştırılmış Azot gazının TEM'lerde kullanılması.....	13
Şekil 3.1.	Peltier etkisi	16
Şekil 3.2.	Seri bağlanmış, yarı iletken n-p çiftleri	17
Şekil 3.3.	Yarı iletkenlerin sıcaklığa bağlı verimleri (Döşkaya, 2010)	19
Şekil 4.1.	a) Kazan ön görünüşü, b) Deney yapılan arka yüzey.....	22
Şekil 4.2.	Deney yapılan kazan yüzey ölçüleri ve deney/kontrol gurubu parametreleri ..	22
Şekil 4.3.	Seri bağlanmak üzere hazırlanan 2x3 adet TEM'in görüntüsü	24
Şekil 4.4.	80x80 mm kare şekilli, 20mm derinlikli alüminyum kanatlar	24
Şekil 4.5.	Farklı boyutlardaki kare şekilli alaşımlı alüminyum yayıcı örnekleri	25
Şekil 4.6.	Yayıcı ve kanatların termal macun ile montajı.....	26
Şekil 4.7.	Deney ve kontrol gurubu ($h = p = k = 80\text{mm}$).....	26
Şekil 4.8.	Elektrik ve sıcaklık verilerinin alınması.....	27
Şekil 5.1.	62x62mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 62\text{mm}$	31
Şekil 5.2.	75x75mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 75\text{mm}$	33
Şekil 5.3.	Kazan sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.....	34
Şekil 5.4.	75x75mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 130\text{ mm}$, a) Güç, b) Artış oranları.....	35
Şekil 5.5.	Kazan sıcaklıkları ve sıcaklık farkları.....	36
Şekil 5.6.	75x75mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı $p = k = 160\text{ mm}$, a) Güç, b) Artış oranları	37
Şekil 5.7.	80x80mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı $p = k = 80\text{ mm}$, a) Güç ve sıcaklık, b) Artış oranları	39

Şekil 5.8. 120x120mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcı $p = k = 120$ mm, a) Güç, b) Artış oranları ve sıcaklık	41
Şekil 5.9. 120x120mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcı $p = 200$ mm, $k = 140$ mm, a) Güç ve sıcaklık, b) Artış oranları.....	42
Şekil 5.10. 140x140mm boyutlu, 1.5mm kalınlıklı yayıcı $p = k = 140$ mm, a) Güç ve Sıcaklık, b) Artış Oranları.....	44
Şekil 5.11. 140x140mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcılar, $p = 210$ mm, $k = 140$ mm, a) Güç, b) Artış oranları.....	45
Şekil 5.12. Alüminyum plaka ortak yayıcı (25x60cmboyutunda 1mm kalınlığında) ölçüsü	47
Şekil 5.13. Ortak Yayıcı kullanmanın etkisi, a) Güç – Sıcaklık, b) Artış Oranları	48
Şekil 5.14. Farklı modül etkisi, a) Güç-Sıcaklık, b) Artış Oranları.....	51

TABLolar LİSTESİ

Tablo 3.1.	Farklı peltiyer modelleri ve özellikleri.....	19
Tablo 4.1.	Kullanılan TEM modül özellikleri.....	21
Tablo 4.2.	Kullanılan parametre senaryoları.....	23
Tablo 4.3.	Kullanılan cihazlar ve özellikleri.....	28
Tablo 5.1.	62x62 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 62\text{mm}$	30
Tablo 5.2.	75x75 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 75\text{mm}$	33
Tablo 5.3.	75x75 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 130\text{mm}$	35
Tablo 5.4.	75x75 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 160\text{mm}$	37
Tablo 5.5.	80x80 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 80\text{mm}$	38
Tablo 5.6.	120x120mm boyutunda 1.5mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 120\text{mm}$	40
Tablo 5.7.	120x120mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı, $p = 200\text{mm}$, $k = 140\text{mm}$	42
Tablo 5.8.	140x140mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 140\text{mm}$	43
Tablo 5.9.	140x140mm boyutlu, 1.5mm kalınlıklı, $p = 210\text{mm}$, $k = 140\text{mm}$	45
Tablo 5.10.	Ortak Yayıcı kullanmanın etkisi (1mm kalınlıklı tek alüminyum plaka üzerinde kanatlar, 250x600mm ölçüsünde).....	46
Tablo 5.11.	Ortak Yayıcı kullanmanın etkisi (2 adet 1mm kalınlıklı 25x60cm ölçüsünde alüminyum plaka)	48
Tablo 5.12.	Kullanılan parametreler için güç artış oranlarının karşılaştırılması.....	49
Tablo 5.13.	TGM-199-2.0-1.2 ve TEC-12706 modüllerinin karşılaştırılması ($p = k =$ 80mm)	50

TERMOELEKTRİK JENERATÖRÜ KULLANILARAK FARKLI MALZEME VE BOYUTLARDA ISI YAYICILARI İLE BACA GAZLARINDAN ELEKTRİK ÜRETİMİNİN ARAŞTIRILMASI

ÖZET

Bu çalışmada doğalgaz kazanı baca atık ısısı kullanılarak Termo Elektrik Modüllerin farklı parametrelerdeki elektrik verileri analiz edilmiştir. Bu amaçlı olarak modüllerin soğutma kısmında farklı boyutlarda ve dizilimlerde kullanılan yayıcıların elektrik verilerine etkisi incelenmiştir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı modüller kullanılarak oluşturulan Termo Elektrik Jeneratör sistemlerinde yayıcı etkileri araştırılmıştır. Alaşımli alüminyum plakadan 62-240mm aralığında çeşitli boyutlarda kullanılan yayıcılar farklı X ve Y mesafelerindeki dizilim etkisi incelenmiştir.

Değiştirilen tüm parametreler için yayıcı kullanılan Termoelektrik Jeneratörlerin elektrik verilerinin yayıcı kullanılmayanlara oranla çok daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Bununla birlikte artan yayıcı boyutu ve modüller arası artan X, Y mesafelerinde elektrik verilerinin de önemli oranlarda arttığı tespit edilmiştir. Kullanılan tüm parametrelerde genel olarak kazanın çalışma periyodunda elektrik veri farkının daha yüksek olduğu, kazanın devre dışı olduğu aralıkta ise bu veri farkının sıcaklık farkının bir sonucu olarak düştüğü tespit edilmiştir. 1,5 ve 2mm yayıcı kalınlıklarının da değerlendirildiği sonuçlara göre 2mm kalınlığındaki yayıcıların daha iyi sonuçlar sağladığı, bununla birlikte daha yüksek kalınlıklar için özellikle kazanın durma periyotlarında kalın yayıcıların dezavantajlı olduğu tespit edilmiştir.

Farklı modüllerin karşılaştırılması amaçlı olarak düşük sıcaklık aralığında çalışan, piyasada Peltiyer olarak bilinen TEC-12706 modülü ile elektrik üretim amaçlı geliştirilen yüksek sıcaklığa dayanıklı TGM-199-2,0-1,2 modülü kullanılmıştır. 76°C gibi nispeten düşük yüzey sıcaklıklarında TEC-12706 modüllerinden alınan verilerin TGM-199-2,1-1,2 modüllere göre daha yüksek olduğu sonucuna varılmıştır. Düşen sıcaklık farkı ile elektrik veri düşümlerinin TEC-12706 modülde daha hızlı olduğu tespit edilmiştir. TEC-12706 modüllerinin sıcaklık farklarının değişimine karşı daha hassas olduğu veya daha hızlı tepki verdiği sonucuna varılmıştır. Yüzey sıcaklığının 100°C'nin üzerine çıkması durumunda TEC-12706 modülünden veri alımı kesintiye uğrarken, TGM-199-2,1-1,2 modüllerinin yüksek sıcaklığa dayanımlarının sonucu olarak aktif çalışmaları devam etmiştir.

Anahtar Kelimeler: Termo elektrik, Peltiyer, TEM, TEC, TEG, Yayıcı, Kanat.

RESEARCH ON ELECTRICITY PRODUCTION FROM FLUE GASES WITH HEAT EMITTERS OF DIFFERENT MATERIALS AND SIZES USING A THERMOELECTRIC GENERATOR

ABSTRACT

In this study, the electrical data of Thermoelectric Modules in different parameters were analyzed using natural gas boiler flue waste heat. For this purpose, the effect of emitters used in different sizes and arrangements in the cooling section of the modules on the electrical data was investigated. Emitter effects were investigated in Thermoelectric Generator systems created using high temperature resistant modules. The arrangement effect of emitters used in various sizes from 62 to 240 mm alloyed aluminum plate at different X and Y distances was investigated.

It was determined that the electrical data of Thermoelectric Generators using emitters for all changed parameters were much higher than those without emitters. However, it was determined that the electrical data increased significantly with increasing emitter size and increasing X, Y distances between modules. It was determined that the electrical data difference was generally higher in the boiler operating period in all used parameters, and this data difference decreased as a result of the temperature difference in the interval when the boiler was off. According to the results where the 1.5 and 2 mm emitter thicknesses were also evaluated, it was determined that the 2 mm thick emitters provided better results, however, for higher thicknesses, especially during the boiler stop periods, thick emitters were disadvantageous.

For the purpose of comparing different modules, the TEC-12706 module, known as Peltier in the market, which operates in the low temperature range, and the TGM-199-2.0-1.2 module, which is developed for electricity generation purposes and is resistant to high temperatures, were used. It was concluded that the data obtained from the TEC-12706 modules were higher than the TGM-199-2.1-1.2 modules at relatively low surface temperatures such as 76°C. It was determined that the electrical data drops were faster in the TEC-12706 module with the decreasing temperature difference. It was concluded that the TEC-12706 modules were more sensitive to the change of temperature differences or reacted faster. When the surface temperature exceeds 100°C, data reception from the TEC-12706 module is interrupted, while the TGM-199-2.1-1.2 modules continue to operate actively due to their resistance to high temperatures.

Keywords: Thermoelectric, Electric, Peltier, TEM, TEC, TEG, Emitter, Cooling.

1. GİRİŞ

Bir ülkenin enerji maliyetlerini en aza düşürmek ya var olan enerji kaynaklarını arttırmak, ya yeni enerji kaynaklarını keşfetmek veya atık enerji kaynaklarını faydalı bir şekilde değerlendirmek ile olabilir. Fosil enerji kaynaklarının tükenmek üzere olduğu veya uzun süreçte talebi karşılamayacak olması gerçeği göz önüne alınırsa güneş enerjisi, rüzgâr enerjisi gibi temiz enerji kaynaklarının geliştirilmesi veya var olan enerjinin verimli kullanılması son derece önemlidir. Enerjide tasarruf, verimli enerji kullanımı ve yenilenebilir enerji kaynakları gibi başlıkları önemli araştırma konularını oluşturmaktadır. Dolayısıyla enerji kaynağı bulma ve bunu plansızca harcama dönemi geride kalmış, üretilen kaynağın sürdürülebilirliğini sorgulama ve enerji üretirken doğaya ve çevreye verdiği zararı tespit etme ve engelleme noktasına gelinmiştir.

Ülkelerin enerji potansiyelleri kadar potansiyellerini kullanabilme oranları da oldukça önemlidir. Fosil yakıtlardan enerji elde etmek kısa vadede çok karlı olsa da fosil yakıtların rezervlerinin tükenme bilecek olduğunu göz ardı etmemek gerekir. Yenilenebilir enerji kaynakları ise ilk yatırım miktarları daha yüksek olabilen ve amortisman süreleri daha uzun olan enerji kaynaklarıdır. Ancak yenilene bilen revizelerinin olması ve çevre dostu olmaları günümüzde onları popüler hale getirmektedir. Ülkemizde enerji üretiminin büyük bir kısma başka devletlerden temin ettiğimiz doğalgaz ve petrole dayalı üretim olduğu için enerji alanında hür ve kendine yetebilen bir ülke hürriyetinden yoksunuz. Fosil yakıtlarının dünya üzerindeki miktarını değiştiremeyiz ancak ülkemizde potansiyeli olan rüzgâr hidroelektrik ve güneş gibi yenilenebilir enerji kaynaklarına doğru yatırımlar yaparak mevcut konumumuzla enerji jeopolitiğini çok değerli ve önemli hale getirebiliriz.

Var olan enerjinin verimli kullanılması da aslında bir enerji kaynağı olarak düşünülebilir. Özellikle binalar, taşıtlar ve endüstriyel alanlarda doğaya atılan ısı enerjiler göz önüne alınırsa enerjinin önemli bir bölümü atık ısı olarak doğaya atılmaktadır. Enerjinin verimli kullanılması kapsamında atık ısı kaynaklarının yeniden değerlendirilmesi aslında yenilenebilir enerji kaynaklarının araştırılmasından daha az maliyetli olabilir. Atık ısı enerji kaynaklarının değerlendirilmesi enerji maliyetlerini düşürmenin yanı sıra küresel

ısınmanın çevre ve sağlık üzerindeki etkisini azaltma hususunda da önemlidir. Temiz enerjiye geçiş 2015 Paris ve onu takip eden 2021 Glasgow anlaşmaları gereği bir zorunluluktur haline gelmiştir. Bu anlaşmalar ve günümüz iklim değişikliği konusu kapsamında küresel ısınmanın çevre ve sağlık üzerindeki etkisini azaltma amaçlı olarak salınan karbondioksit oranının düşürülmesi hedeflenmiştir. Bu doğrultuda atıl ısıdan elektrik enerjisinin elde edilmesi, bu gibi sistemlerin verimliliklerinin artırılması bu alanda atılan önemli adımları teşkil eder. İşe dönüştürülemeyen her enerji milli servetimizden büyük bir kayıptır. Ancak ülkemiz her ne kadar bu konuda sürekli ilerleme kaydetse de henüz istenilen seviyeye gelememiştir. Enerjiyi verimli kullanan ülkelere baktığımızda ise bu ülkelerin ortak özellikleri ilerleyen teknolojileri sayesinde bunu başarmış olmalıdır. Ayrıca bir diğer nedeni ise bu alanda oluşturulan farkındalıktır. Ama maalesef yapılan literatür araştırmalarında bu konudaki yayın sayısının çok az ve yetersiz olduğu görülmüştür. Yayın sayısının yüksek olduğu ülkelere bakıldığında teknolojik olarak bizden daha ilerde ve enerji verimliliğinin en az enerji üretimi kadar önemli olduğunun farkındalığına sahip ülkeler olduğunu görüyoruz (Kavaz ve Köroğlu, 2023)

Atık ısı enerjisi hem ısı amaçlı değerlendirilebilirken hem de bu enerjinin elektrik enerjisine dönüşümü mümkündür. Örneğin sıcak baca gazları kullanılarak soğuk suyun ısıtılması mümkündür, veya baca ısısından elektrik üretimi de mümkündür. Atık ısıların ısı enerjisi olarak geri dönüşümü daha yüksek verimde olacağı için mümkün ise ısı enerjisi olarak faydalanılması daha yerinde olur. Buna en basit ve en yaygın örnek ise hepimizin evlerinde bulunan doğalgaz kombileri ilk zamanlar sadece hermetik olarak üretilen kombilerde baca çıkışında sıcaklık yaklaşık 250 °C iken Yapılan arge çalışmaları sonucu geliştirilen yoğunmalı kombilerde su buharı yoğunlaştırılarak atılan enerjinin büyük kısmı geri kazanılmıştır. Bu sayede verim artmış kayıp enerji azalmış ve ekonomik kayıp minimuma indirilmiştir. Ancak ısı enerjisinin ısı olarak dönüşümünün mümkün olmadığı durumlarda, elektrik enerjisine dönüşümü tercih edilmelidir. Nitekim birden fazla Termo Elektrik Modülün (TEM) bir araya getirilmesi ile oluşturulan Termo elektrik jeneratörleri (Thermo Electric Generator (TEG)) kullanılarak atık ısı kaynağından elektrik enerjisi elde edilmektedir (Mamur et al., 2021). Termoelektrik modülleri veya piyasada peltiyer olarak bilinen modüller genel olarak soğutma amaçlı olarak kullanılmaktadır. Yani modüllere elektrik verilip bir tarafında ısınma diğer tarafında soğuma sağlanmaktadır. Bu şekilde soğuk taraf kullanılarak çeşitli yerlerde soğutma

amaçlı olarak kullanılmaktadırlar. Oysa bu modüller ile ters işlem yapmak da mümkündür. Yani modüllerin bir tarafı daha sıcak, diğer tarafı daha soğuk olması durumunda modülden elektrik enerjisi elde edilmesi de mümkündür. Ancak elektrik elde etme amaçlı kullanımları durumunda verimlilikleri daha düşüktür. Elektrik üretim değerleri soğutma etkisine göre daha düşük olduklarından dolayı genel olarak soğutma sektöründe kullanılsalar da yarı iletken malzemelerin gün geçtikçe daha iyileştirilmelerinden dolayı bu modüllerin elektrik üretimleri de önem kazanmaya başlamıştır.

TEM Modülleri her türlü ısı kaynakla kullanılabilir olması, ısı kaynaktan doğrudan elektrik enerjisi elde etmesi, uzun süre boyunca bakım gerektirmemesi, bakım masraflarının az olması, uzun ömürlü olmaları avantajlarına da sahiptirler(Luo vd., 2022). Tüm bu avantajlarının yanında %5-15 gibi düşük verimlilikleri bunların kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. Bu verim düşüklüğü iki ana koldan geliştirilmeye çalışılmaktadır. Bunlardan biri daha yüksek verimlilik sağlayacak malzemelerin üretimi diğeri ise daha iyi soğutmanın sağlanmasıdır. Daha iyi soğutma çalışmalarında modüllerin hem sıcak hem soğuk tarafında olmak üzere iki yüzeyde ısı yayıcıları, farklı kanat türleri, FDM malzeme gibi farklı aktif ve pasif soğutma sistemlerinin kullanılması mümkündür. Elektrik üretimi amaçlı kullanılan modüllerde üretilen elektrik miktarı sıcak ve soğuk tarafın sıcaklık farkı ile doğrudan ilgilidir. Sıcaklık farkının artırılması ise ısıtılan tarafın sıcaklığının yüksek tutulması, soğutulan tarafın ise düşürülebildiği kadar düşürülmesi elektrik verilerini arttıracaktır. Bu sıcaklık farkının artırılması prensibine dayanan araştırmalar mevcuttur.

Atık baca gazlarından ihtiyaç doğrultusunda ısı enerji geri dönüşümüne dair yapılan çalışmalar olsa da, genel olarak atık baca gazları enerji israfı olarak karşımıza çıkmaktadır. Termoelektrik jeneratörleri kullanılarak Seebeck etkisi ile atık baca gazlarından elektrik enerjisi elde etmek mümkündür. Ancak kullanılan termoelektrik jeneratörlerinin düşük verimliliğe sahip olmaları ve yurt içinde üretilmemeleri nedeniyle sonuçta maliyetlerinin yüksek olmasından dolayı pek tercih edilmemektedir. Mevcut durumda termoelektrik jeneratör yapılarında farklı malzeme kullanımları daha yüksek verimli ve daha düşük maliyetli modül üretimleri gelecekte mümkün olacaktır. Bu da araştırmacıların bu alandaki çalışmalarına hız vermesini sağlamıştır. TEM'lerde malzeme

dışında iyileştirmeler yaparak da verimin artırılması mümkündür. Nitekim TEM'lerin kullanılacağı iki ortam arasındaki sıcaklık farkı, modül yüzeyleri arasındaki ısı transferinin hızlı ya da yavaş olması da verim üzerinde etkilidir. Ön ve arka yüzey arasında sıcaklık farkı ne kadar artarsa üretilen akım miktarı da o kadar fazla olur. TEM'lerden üretilen enerji miktarı çok yüksek değildir. Çünkü piyasada kullanılan TEM'ler genelde küçük yapıda düşük potansiyeldedir. Enerji üretimi yapılacak atık ısı kaynağının durumuna göre istenilen miktarda termoelektrik TEM birbirine bağlanarak oluşturulan TEG'lerin üretim kapasitesi artırılabilir.

Yüksek sıcaklıklı TEM modüllerinin baca gazlarında elektrik üretimi amaçlı kullanılabilirliğine yönelik olan bu çalışmada doğalgaz kazanı kullanılan Bingöl Et ve Süt kurumunda bacanın atık ısısı kullanılarak farklı parametrelerde elektrik verileri analiz edilmiştir. Bu amaçlı olarak modüllerin soğutma kısmında farklı boyutlarda ve dizilimlerde kullanılan yayıcıların elektrik verilerine etkisi incelenmiştir. Yüksek sıcaklığa dayanıklı TEM'ler kullanılarak oluşturulan TEG sistemlerde yayıcı etkileri araştırılmıştır. Yayıcı boyutları ve dizilimlerinin etkisi bir kontrol sistemi kullanılarak karşılaştırılmıştır. Bu amaçla alaşımlı alüminyum plakadan 62-240mm boyut aralığında çeşitli boyutlarda yayıcılar farklı boyut ve dizilim mesafeleri için sonuçlar kıyaslanmıştır.

2. KAYNAK ÖZETLERİ

2.1. TEM'lerin Kullanıldığı Farklı Uygulama Alanları

Birden fazla TEM'in bir araya getirilmesi ile oluşturulan TEG'ler atık ısı kaynağından elektrik enerjisi elde edilmesini sağlar (Mamur et al., 2021). TEM'ler her türlü ısıl kaynakla kullanılabilir olması, ısıl kaynaktan doğrudan elektrik enerjisi elde etmesi, uzun süre boyunca bakım gerektirmemesi, bakım masraflarının az olması, uzun ömürlü olmaları avantajlarına da sahiptirler. Tüm bu avantajlarının yanında %5-15 gibi düşük verimlilikleri bunların kullanım alanlarını sınırlandırmaktadır. TEM ve TEG modüllerinin verimlerinin artırılması çalışmaları ise temelde farklı malzeme çalışmaları ve daha iyi soğutma işlemleri olarak iki ana kol üzerinden yürütülmektedir. Yarı iletken malzeme üzerine son 50 yıldır meydana gelen gelişmeler sonrasında özellikle Peltiyerlerin kullanım alanlarının arttığı bilinmektedir (Meriçelli, 2016). Soba ve sıcak su kaynaklarının ısıl enerjisi kullanılarak TEM modülleri sayesinde küçük çaplı aydınlatma sistemleri yapıldığı, ayrıca araç egzozlarında kullanılması durumunda %4-5 oranında yakıt ekonomisi sağladığı, akü şarj etmeye yaradığı bilinmektedir (Kaya, 2010).

2019 yılına kadar olan teknolojik gelişmelere göre oluşturulan çeşitli TEG'lerle 15-550W'a kadar elektrik üretimi sağlanıp, bu modüllerin 5kW'ya kadar elektrik tesisatlarında kombine edilebildiği bilinmektedir(Dalar, 2019). Farklı sayıda TEM'lerin bir araya getirilmesi ile oluşturulan TEG'lerin güçleri 5kW'ya kadar çıkarılabilir(Mamur vd., 2021). Gelecekte daha yüksek verimli ve daha yüksek sıcaklığa dayanıklı TEM'lerin geliştirilmesi ile bu modüllerin kullanım alanlarının da yaygınlaşacağı tahmin edilmektedir. Mevcut durumda başlıca kullanım alanları ve kullanılmasının yakın zamanda muhtemel olduğu alanlar aşağıdaki gibi vurgulanmıştır.

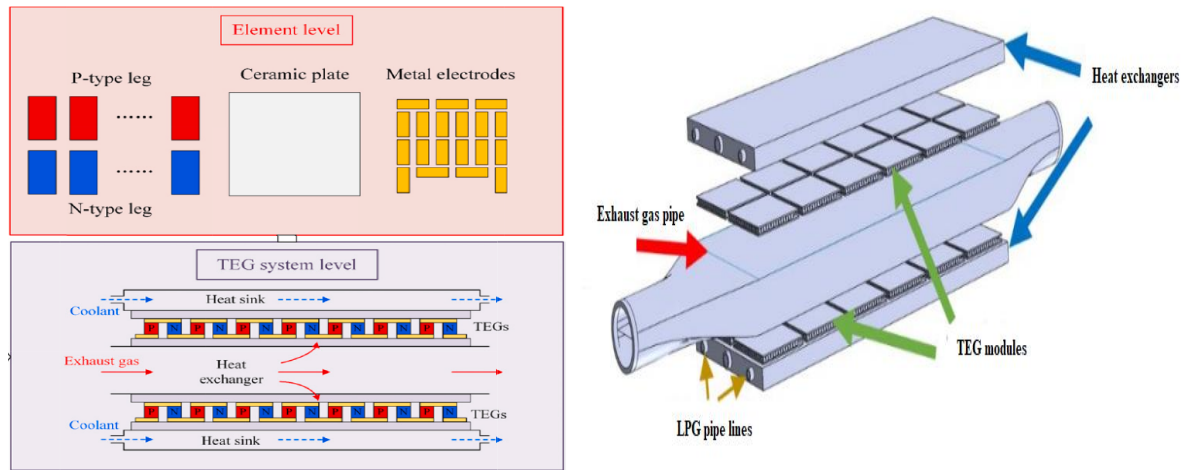
TEG'ler daha yüksek sıcaklıklı ısıl kaynak sağladığı için genellikle araç egzozlarında denenmektedir (Patyk, 2013; Liang vd., 2014; Topalcı vd., 2020). Motor verimlerinin ortalama %25-30 arasında değiştiği düşünülürse araç enerjisinin yaklaşık %70'i atık enerji olarak dışarı atılmaktadır (Kunt, 2016). Araç egzoz gazlarında TEG kullanımında

modül yüksek sıcaklık farklarında, yüksek motor hızlarında ve motor yüklerinde modül verimlerinin arttığından bahsedilmektedir (Kim vd., 2017). Temizer vd. (2016) sayısal çalışmasından termoelektrik jeneratör voltaj ve akım değerlerinin motor devri ve motor yükü ile doğru orantılı olarak artış gösterdikleri anlaşılmıştır. İlgili çalışmada egzoz monte edilen 40 adet TEM'in 3000 devir/dk ve 100Nm yük değerinde 156,7W değerinde elektrik ürettiğinden bu elektrik ile hem bataryanın sarjlı kalacağını hem de klima ısıtıcı gibi elektrik aksamalarına elektrik sağlanabileceğinden bahsedilmektedir. Ezgozda TEG kullanılması ile 1 kW enerji üretilen başka çalışmalar da vardır (Vale vd., 2017). Nitekim Liu vd. (2015) çalışmasında maksimum 944W çıkış gücü elde etmişlerdir. Renault markasının RENOTER projesi kapsamında binek araçlarda 200-500W arasında, ağır araçlarda ise 1kW'ya kadar atık ısı geri kazanımı hedeflenmiştir (Kunt, 2016). Aranguren vd. (2017) daha önce yapılan sayısal bir çalışmayı %12 hata payı ile deneysel olarak doğrulamıştır. Araç egzozunda TEG kullanılması durumunda araç hızının artışı ile birlikte modül elektrik üretiminin de artışı tespit edilmiştir (Zhang vd., 2015). Ge vd. (2022a) güncel deneysel çalışmasında TEG veriminin modül sayısı, sıcaklık gradyeni ve akışkan debisi ile yakından ilgili olduğu tespit edilmiştir. Ochieng vd. (2022) literatür araştırması çalışmasında 2000 yılından 2021 yılına kadar otomotiv ve endüstriyel alandaki TEG çalışmalarını ele almıştır. İlgili çalışmada, TEG modüllerinin araç egzoz gazlarındaki atık ısı enerjisinin geri dönüşümünde kullanılması üzerine son zamanlarda yapılan çalışmaların 2008'e göre yaklaşık 4 kat artış gösterdiğini belirtmiştir. Bu da kısa sürede TEG modüllerinin otomobillerde yaygın kullanımını işaret etmektedir. Aynı çalışmada TEG modüllerinde sıcak tarafın genel olarak sabit olduğunu, bu bakımdan eşanjör gibi ısıl iyileştirmelerin ancak modül soğuk tarafına uygulanabileceğinden bahsetmekte ve bu alanda yapılan sayısal ve deneysel bazı güncel çalışmaları sunmaktadır.

TEM modüllerinin araç egzozlarında kullanılması durumunda özellikle kış aylarında daha yüksek verimde çalışacakları vurgulanmalıdır (Kaya, 2010). Bir dizel motorunun egzoz atık ısısının değerlendirildiği çalışmada sıcaklık farkını arttırmak amacı ile motor soğutma suyu sistemi kullanılarak soğutma yapılmıştır. Seri bağlanan sekiz adet TEM'den oluşan TEG 3500 devir /dak ve 100 Nm yükte maksimum 156.7 Watt elektrik ürettiği bildirilmiştir(Temizer vd., 2016). Temizer vd. (2016) çalışmasında ısıtılan tarafın iyi ısıtılmasının soğutulan tarafında iyi ve hızlı soğutulmasının bu modüllerin

verimlerinin artışında önemli rol oynayacağı hususu vurgulanmıştır. TEG soğutma işleminin motor soğutma suyu ile yapılmasının daha yerinde ve uygulanabilir olması bakımından bazı çalışmalarda tavsiye edilmiştir (Temizer vd., 2016, Ge vd., 2022).

TEG modülleri sayesinde kışın soğukta akışkanlığı azalan mumsu yapıya sahip olan dizel gibi yakıtların sıcak egzoz gazları ile ısıtılması da kolaylaşacaktır. Akçay vd. (2020) yaptıkları çalışmada (Şekil 2.1) TEG soğutma amaçlı olarak LPG yakıtını ilgili yüzeyden dolaştırarak hem yakıtın ısınmasını sağlanmış, hem de modül sıcaklığının artışı sağlanmıştır. Bu örnek çalışma da göstermektedir ki LPG ya da dizel gibi yakıtlı araçlarda TEG kullanılması durumunda, bu yakıtların ısıtılarak motor veriminin arttırması mümkündür. TEG'lerin egzoz gazlarında kullanılması durumunda gerek yakıt ekonomisi, gerek emisyonların azalması, gerekse yüksek verimlerin sağlanması bakımından son derece önemli olacaktır (Kunt, 2016; Temizer vd., 2016).



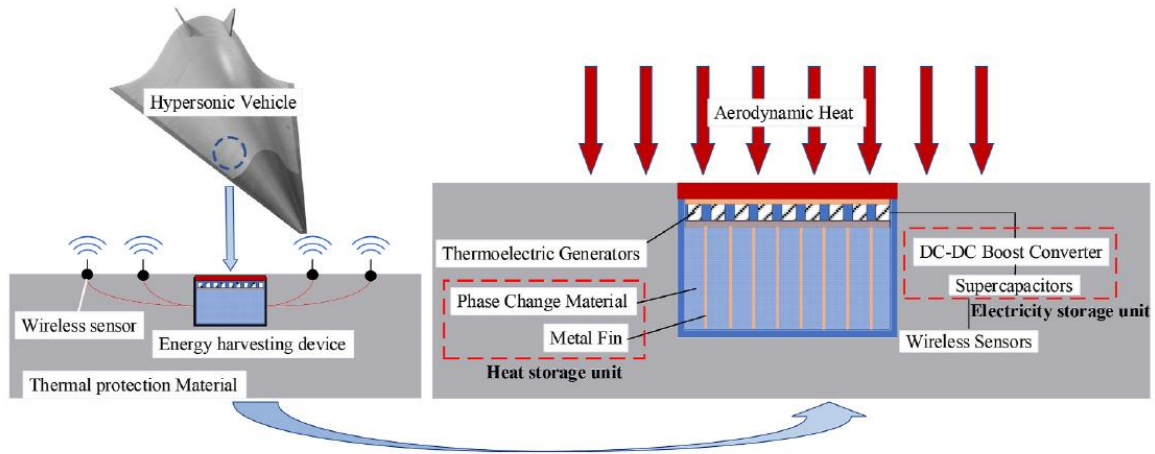
Şekil 2.1. TEG'lerin soğutulmasında LPG yakıtının kullanılması, Akçay et al. (2020)

Otomobil araçlarında karşılaşılan önemli problemlerden biri de şüphesiz azot gazı (NO_x) emisyonunu azaltmaktır. Bilindiği gibi Azot gazı emisyonu, egzoz gazlarının sahip olduğu yüksek sıcaklıktan kaynaklanmaktadır. Dolayısıyla bu gazın azaltılması için sıcaklığın düşürülmesi gerekmektedir. İçten yanmalı motor sıcaklığının düşürülmesi motor verimini de düşüreceğinden uygulanabilir bir şey değildir. Ancak TEG modüllerinin yaygın kullanımları ile birlikte egzoz gaz sıcaklıklarının düşürülmesi ve bu problemin çözümü mümkün olacaktır.

Ge vd. (2022b) TEG'lerin konsantreli fotovoltaik panellerde kullanımı üzerine bir çalışma yapmışlardır. TEG'ler için önemli bir başka alana işaret eden bu çalışmada fotovoltaik panellerde artan sıcaklığa bağlı olarak verim düşüşü engellenerek daha yüksek elektrik üretimi sağlanmıştır. Bilindiği gibi normal şartlarda fotovoltaik(PV) panel verimi ortalama %20'lerdedir. Ancak bu örnek çalışma anlaşıldığı üzere TEG'lerin PV panellerde kullanılması durumunda hem gereksiz ısının çekilerek panel verimini arttırması, hem de TEG'ler için gerekli olan sıcaklık gradyeni kullanılarak ekstra elektrik üretiminin sağlanması ile komple sistemin verimi yaklaşık olarak %42 'ye yükseltilmiştir. Dolayısıyla PV/TEG, PVT/TEG ve bunların türevlerinin yakından araştırılması gerekmektedir.

Miao vd. (2022) sayısal çalışmasının doğrulamasını endüstriyel ortamda sıcak çelik yapılar kullanarak sağlamışlardır. Bu çalışmadan yola çıkılarak dökümhaneler, metal işleme atölyeleri gibi yüksek sıcaklıkta çalışılan ortamların da TEG modüllerinin önemli uygulama alanlarını teşkil edeceği sonucuna varılabilir. Ancak mevcut durumdaki TEM modül malzemeleri olan yarı iletkenlerin dayanım sıcaklıkları maksimum 230°C'ler dedir. Bu ise bu modüllerin kullanımlarını sınırlandırmaktadır.

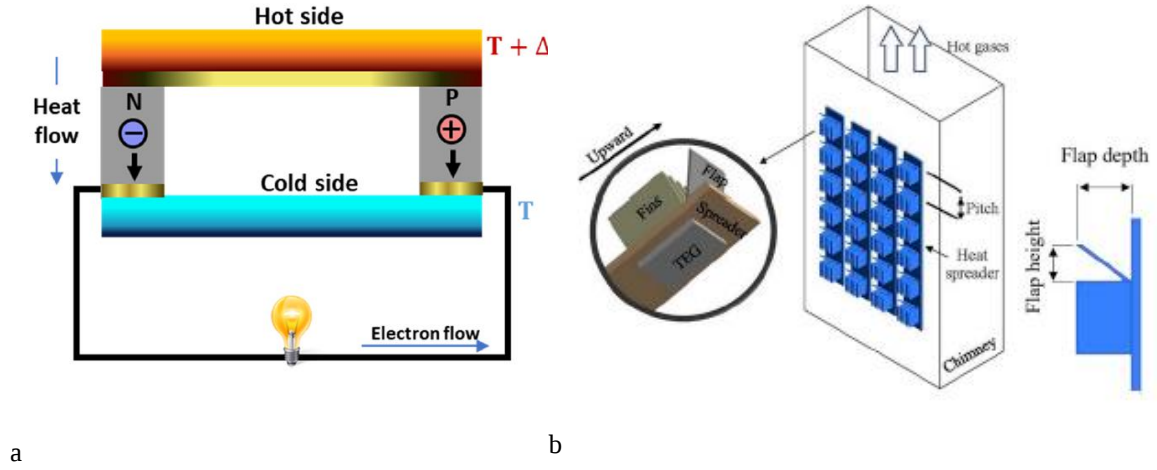
Bir başka ilginç TEG çalışması ise Wang vd. (2023) çalışmasında olduğu gibi ses üstü araçta ısı enerjisinin geri dönüşümü üzerinedir. Bu çalışmada aerodinamik ısıyı(veya gelecekte hava araçlarının kanatlarına yerleştirilecek PV panel türü malzemelerin çektiği güneş enerjisi olabilir) modüller elektrik enerjisine çevirmektedir. Isı yayıcı olarak PCM malzeme kullanıldığı belirtilmiştir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2. TEG modüllerinin sesüstü araçlarda kullanılması (Wang et al. 2023)

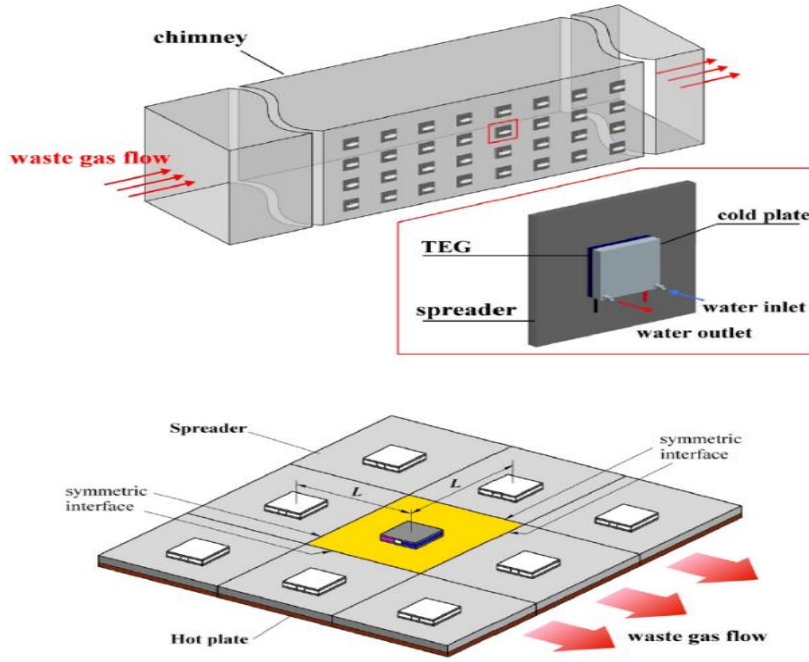
Literatür çalışmalarından da anlaşıldığı üzere TEM verimlerinin artırılması çalışmaları temel olarak malzeme ve modüllerin yerleşimleri, sıcaklık farklarının artırılması gibi fiziksel düzenleme parametreleri üzerinden yürütüldüğü anlaşılmaktadır. Fiziksel parametrelere bakıldığında modül sıcak ve soğuk tarafındaki ısı transfer durumlarını iyileştiren parametrelerin verim üzerinde önemli etkisinin olduğu görülmektedir. Özellikle modülün soğuk tarafının soğuk tutulmasının verim üzerinde daha önemli etkiye sahip olduğu anlaşılmıştır. Çünkü modüllerin küçük boyutta olmasından (40x40 mm) dolayı sıcak taraftaki sıcaklık etkisi kısa sürede soğuk tarafa da sirayet etmektedir. Bu kadar küçük boyuttaki modüllerin soğuk tarafının sıcaklığının düşürülmesi ya da en azından aynı sıcaklıkta kalmasının sürdürülmesi pek kolay değildir (Khalil ve Hassan, 2019b). Bu parametrelerden birinin de sıcak ve soğuk kısımda modül ile temas eden akışkan hızı ve etkileşiminin olduğudur. Yapılan çalışmalar da TEG’lerde modül düzenlemeleri ve birbirine göre konumlarının ve baca eğim açılarının da çıkış verimleri üzerine önemli etkiye sahip olduklarına dair çalışmalar vardır (Khalil ve Hassan, 2019a; Khalil and Hassan, 2020). Khalil ve Hassan (2020) çalışmasında Termo elektrik jeneratörleri ısı yutucuları ve ısı yayıcılar kullanmıştır (Şekil 2.3). İlgili çalışmada TEM’lerin sıcak tarafta daha fazla ısıyı bünyesine çekmesi için kullanılan ısı absorberlar ısı yutucular olarak, modül soğuk tarafında ısıнын tahliyesini hızlandırmak amaçlı olarak kullanılan absorberlar ise yayıcı olarak adlandırılmıştır. 40x40mm ve 140x140 mm boyutlarında ısı yayıcıları ve 140mm modül mesafesinde jeneratörlerin elektrik üretimi

sırasıyla %17- %42; 40x40mm ve 80x80mm boyutunda yayıcı, 80mm modül mesafesi kullanılması durumunda ise %17 -%21 aralığında artış göstermiştir. Dolayısıyla ilgili çalışmadan TEM'lerin hem sıcak hem soğuk yüzeylerinde ısı yutucu ve yayıcı kullanılarak modül elektrik verimlerinin arttırılabileceği anlaşılmıştır. Aynı yazarın başka bir çalışması olan Khalil ve Hassan (2019b) sayısal çalışmasında kullanılan yanıl kanatların(flap) jeneratör verimlerini önemli oranlarda arttırdığından bahsedilmektedir (Şekil 3). Kanat derinliğinin 14 - 50 mm yüksekliğinin ise 20 -35 mm arasında alındığı çalışmada %129 oranında verim artışından bahsedilmektedir. İlgili alanda deneysel çalışmalar olmadığından dolayı bu çalışmaların sonuçları sorgulamaya açık ve deneysel araştırmaya muhtaçtır.



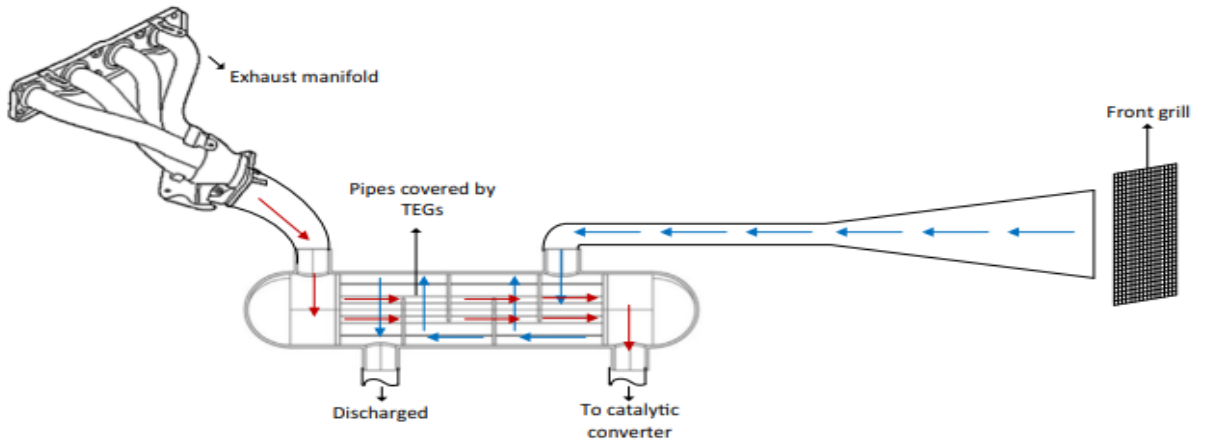
Şekil 2.3. TEG Soğuk tarafı ve kanat uygulaması, a) Ochieng vd. (2022), b) Khalil ve Hassan,(2019b)

Jang ve Tsai (2013) çalışmasında TEG'lerden üretilcek enerji yoğunluğunun optimum modül yerleşimleri ile yakından alakalı olduğunu vurgulamaktadır. ilgili çalışmada modüllerin optimum uzaklıkları ve yayıcının optimum uzunluk ve kalınlığı sayısal olarak araştırılmıştır. İlgili çalışmaya göre uygun yayıcı boyutunun ayarlanması ile birlikte yayıcısız duruma göre ısıl direnci azaltacağından dolayı güç üretiminin %50 oranında artış gösterdiğinden bahsetmektedir. Ayrıca sıcak gazın taşınım katsayısının, sıcaklık gradyanına göre sonuçları daha çok etkilediğinden bahsetmektedir. Ayrıca modül arasındaki mesafenin (P) $40 < P < 300$ mm; yayıcı kalınlığının(t) ise $1 < t < 30$ mm arasında seçilmesinin uygun olacağından bahsetmektedir (Şekil 2.4).



Şekil 2.4. TEG'in baca gazlarında kullanılması (Jang ve Tsai, 2013)

Demir ve Dinçer (2017) araç egzoz gaz geri dönüşüm sisteminde kullandığı eşanjör borularını TEG ile kaplayarak, ısı enerjisinin elektrik enerjisine dönüşümünü sayısal olarak incelemişlerdir. Çalışmada $\text{La}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{CuO}_4$ ve $\text{GdCo}_{0.95}\text{Ni}_{0.05}\text{O}_3$ iki adet farklı malzeme karşılaştırılmıştır. $\text{GdCo}_{0.95}\text{Ni}_{0.05}\text{O}_3$ 'den elde edilen enerjinin $\text{La}_{1.98}\text{Sr}_{0.02}\text{CuO}_4$ 'ye göre yaklaşık 3 kat daha fazla olduğu tespit edilmiştir. En yüksek ekserji veriminin %0.9, en yüksek enerji veriminin %0.6 olduğu, birim alan enerji yoğunluğunun ise 108.8W/m^2 olduğu belirtilmiştir (Şekil 2.5).

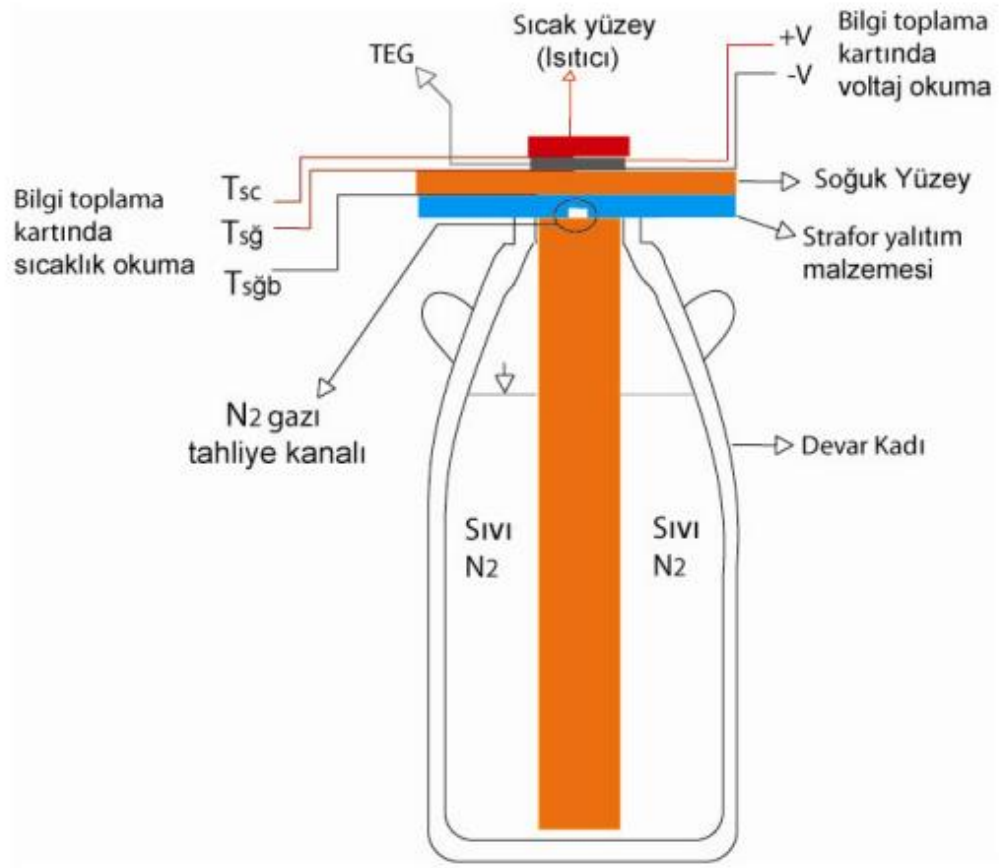


Şekil 2.5. Eşanjör borularının TEG ile kaplanması (Demir ve Dinçer, 2017)

Astrain vd. (2010) sayısal çalışmasında TEG'in hem sıcak hem soğuk tarafta eşanjör kullanarak verim analizi yapmıştır. Çalışmaya göre sıcak tarafta kanatlı plaka şeklindeki eşanjör kullanılması durumunda ısıl direncin azaldığı bunun sonucu olarak modül sıcaklığının arttığı dolayısıyla gücün arttığı anlaşılmıştır. %5'ten daha az maksimum relatif hata oranı ile uyumlu olan sayısal ve deneysel sonuçlara göre 1m baca yüksekliğinden yaklaşık 1 kW güç üretilmesinin mümkün olabileceği belirtilmiştir. Isıl dirençte yapılacak %10 iyileştirmenin üretilen güçte %8 artış sağlayacağından bahsedilmiştir. İlgili çalışmada bu modüllerin verimleri düşük olmasına rağmen birim metrekaareye düşen elektrik üretimlerinin güneş panellerine göre daha fazla olmasının umut verici olduğundan bahsedilmiştir.

Termoelektrik jeneratörlerde hem sıcak hem soğuk tarafta ısı transferinin iyileştirmelerinin verim artışına katkı sağlamaktadır. Ancak bazı çalışmalara göre özellikle soğuk tarafta ısı yayıcı ve kanat kullanımının güç üretimini %129, %42 oranında arttıracığı belirtilmektedir (Khalil ve Hassan, 2019b; Ochieng vd. 2022). Uygulama alanına özel olarak uygun termoelektrik seçimi ile birlikte, Farklı TEG modül yerleşimleri, sıcak ve soğuk tarafta ısı transferinin uygun tasarımının da verimi önemli oranda arttıracığı düşünülmektedir (Zheng vd., 2020).

Şekil 2.6'da görüldüğü gibi başka ilginç bir tez çalışmasında ise atmosferik basınçta sıvılaştırılmış 77K sıcaklığındaki azotu soğuk ısı kaynağı ve 293 K sıcaklığındaki atmosferi sıcak ısı kaynağı olarak kullanıldığında TEM'lerin elektrik verileri teorik ve deneysel olarak incelenmiştir (Özgün, 2009).



Şekil 2.6. Sıvılaştırılmış Azot gazının TEM’lerde soğuk ısı kaynağı olarak kullanılması

TEM’lerde verim artışları ısı geçişini iyileştiren uygulamaları içermektedir. Dolayısıyla eşanjör verimini etkileyen her parametrenin dolaylı olarak TEM verimini de etkileyeceği söylenebilir. TEM’ler hem literatürde hem de uygulamada çeşitli uygulama alanı bulsa da bu modüllerin verimleri oldukça düşüktür. Verim artışları üzerine yapılan çalışmalar da azdır. Nitekim verim artışını sağlayan ΔT artırma çalışmaları kapsamında ısı yayıcıları çalışması yok denilecek kadar azdır (Khalil ve Hassan, 2019b). Bu alanda yapılan bir iki çalışma varsa da bunlar da sayısal çalışmalardır Khalil ve Hassan,(2019b). Bu bakımdan ilgili alanda yapılan deneysel çalışmalara ihtiyaç vardır. Yine literatür sonuçlarından anlaşıldığı üzere genel olarak TEM’ler sobalar, araç egzozları, doğal sıcak su kaynakları, gazlı su ısıtıcıları, güneş ışınlarının odaklanması gibi atıl ısının değerlendirilebileceği kaynaklarda kullanılmıştır. Oysa bu modüller atıl ısının olduğu veya sıcak-soğuk etkilerinin aynı ortamda mevcut olduğu her yerde uygulanabilir. Bu bakımdan modüllerin farklı uygulama alanlarının araştırılmasına da ihtiyaç vardır.

2.2. TEM Modüllerin Kullanılabileceği Alternatif Alanlar

TEM'lerin kullanılabileceği alanlar genel olarak aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Bacalarda oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.
2. Kalorifer kazanlarının çevresinde oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.
3. Yazın klimalı, iç dış sıcaklık farkı fazla olan ortamlarda pencere sistemi gibi tasarlanarak çalıştırılabilir.
4. Bünyesinde soğuk hava deposu bulunduran mekânların duvarlarında oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.
5. Taşınabilir düzenek hazırlanıp, yaz ve kış iklimlerine göre iç ve dış mekânlarda kullanılabilir.
6. Güneş panelleri yüzey sıcaklıkları kullanılarak elektrik üretimi için veya güneş panellerinden elde edilen elektrik kullanılarak soğutma amaçlı kullanılabilir.
- İklim sıcaklığının sıfır derecenin altında olduğu bölgelerde ocak ve soba çevresinde oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.
7. İklim sıcaklığının sıfır derecenin altında olduğu bölgelerde ocak ve soba çevresinde oluşan ısı farkından yararlanılarak çalıştırılabilir.
8. Ortam sıcaklığı -270°C gibi düşük olan Uzay ortamda uzay araçları ve uyduların kendi elektriğini üretiminde kullanılabilir.
9. TEG'ler ile egzoz gaz sıcaklıkları düşürülerek motor NO_x miktarının azaltılması sağlanabilir.
10. Geliştirilecek yüksek sıcaklıklı TEM'ler sıcak çelik yapılarda, dökümhaneler, metal işleme atölyeleri gibi yüksek sıcaklıkta çalışılan ortamlarda kullanılarak yüksek oranlarda elektrik üretimi sağlanabilir.
11. Hava araçlarının dış yüzeylerinde kullanılarak yüksek güneş ısı ve uçak iç ortam sıcaklık farklarından yararlanarak uçak iç aydınlatma sistemlerini beslemek veya aküyü besleyecek elektrik üretimi sağlanabilir.

3.TERMoeLEKTRİK JENERATÖRLERİN YAPISI VE ÇALIŞMA PRENSİBİ

3.1. Termoelektrik Etki ve Tarihçesi

Termoelektrik etkisi ilk kez Alman bilim adamı Thomas Seebeck tarafından bulunmuştur. Seebeck etkisi olarak bilinen bu etki iki farklı metal uçları birleştirilerek oluşturulan kapalı devrede pusula iğnesinin hareketi keşfedilmiştir. Ancak bunun elektriksel bir etki olduğu seebeck tarafından ilkin anlaşılamamıştır. Bununla birlikte TEM'lerin temelini oluşturan ısının elektriğe dönüşümü veya elektriğin ısıya dönüşümü olgusunu ilk keşfeden insan Thomas Seebeck olmuştur. 1834 yılında Fransız bilim adamı Jean Peltier bu çalışmaların devamı niteliğinde yaptığı deneylerde bu devrede elektrik enerjisi kullanılması durumunda bir uçta artan ısı, diğer uçta ise azalan ısıyı keşfetmiştir. Dolayısıyla 1821'de T. John Seebeck'in geliştirdiği TEM'ler sıcak yüzey sıcaklığı ve soğuk yüzey sıcaklıkları farkı sayesinde elektrik enerjisi üretirken, yüzeyler arasındaki voltaj farkının sonucu olarak bir tarafta ısınma diğer tarafta ise soğuma etkisinin sağlanacağını Jean Charles Athanase Peltier 1834'te ortaya koydu. Ortalama bir asır sonra yani 1930'lu yıllarda bu modüller ilk olarak soğutma amaçlı kullanılacak olan peltierler(TEC) şeklinde üretilmeye başlanmıştır.

3.1.1. Seebeck etkisi

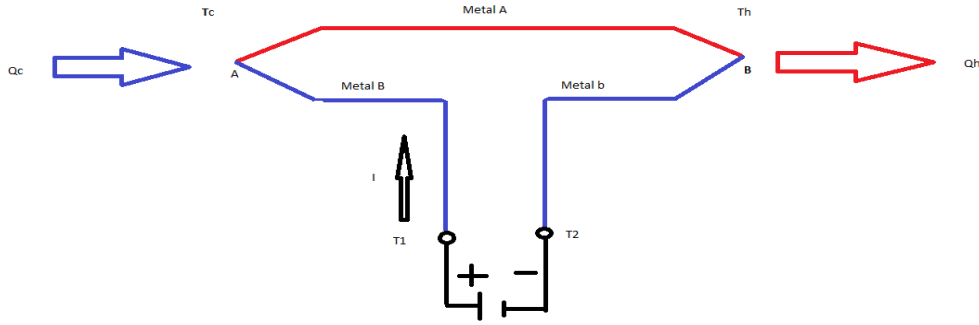
Biri sıcak ve diğeri soğuk olan iki farklı metalin birleşimi ile oluşturulan devreden geçen elektrik akımına seebeck etkisi denir. Bu devreden geçen voltaj miktarı malzemelerden oluşan TEM'lerin sıcaklık farkları (ΔT), yarı iletken çift sayıları(n), kullanılan yarı iletken malzemelerin seebeck katsayısına(α) bağlıdır. Voltaj değerinin bu parametrelerle doğru orantılı olduğu denklem 3.1'de görülmektedir(Khan vd., 2018). Tek bir TEM için($n = 1$) bu denklemin sonucu milivolt cinsinden olduğu için çok sayıda TEM'in seri bağlanması ile voltaj değeri arttırılmaktadır.

$$V = n\alpha\Delta T \quad (3.1)$$

TEM'lerin Seebeck sayısı genel olarak minimum $100\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ olmalıdır(Dalar, 2019). Bu katsayı malzeme türünün yanı sıra aynı malzemenin farklı sıcaklıklarında da farklı olmaktadır. Ayrıca TEM'lerde ki n ve p çiftlerinin kendi arasında seri bağlantısı ile voltaj miktarı, seri bağlanan gurupların da kendi arasında paralel bağlantısı ile de akım miktarının arttırılabileceği bilinmektedir.

3.1.2. Peltier Etkisi

Bir kapalı devre oluşturacak şekilde birbirine bağlanan iki farklı metalin bulunduğu devreden geçirilecek akım sonucunda metallere biri ısınmaya diğeri ise soğumaya başlayacaktır. Bu şekilde devrede elektrik enerjisi kullanılmasının sonucunda bir tarafta ısınma diğ tarafta elde edilen soğuma etkisine Peltier etkisi adı verilir.



Şekil.3.1 peltier etkisi

3.1.3. Thomson Etkisi

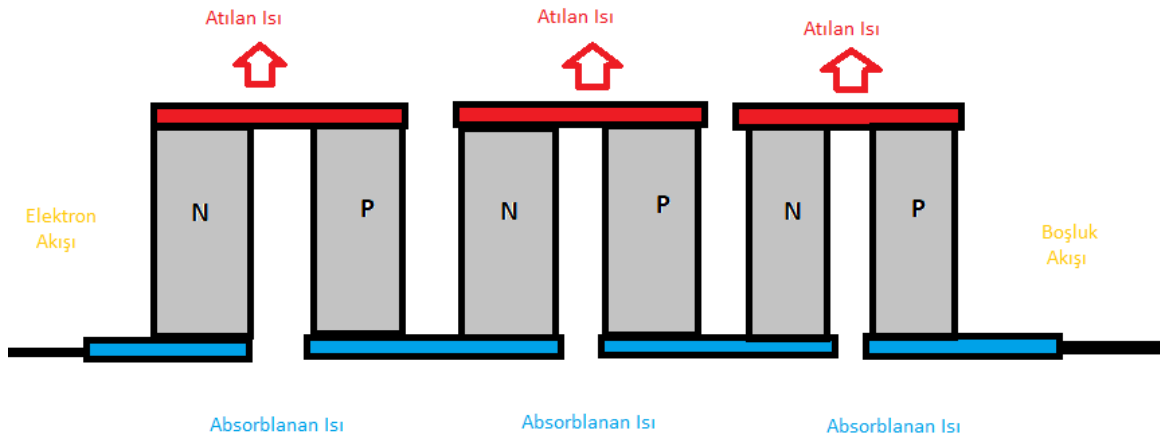
Thomson etkisi, 1854 yılında William Thomson (Lord Kelvin) tarafından keşfedilmiştir. Bu etki, özellikle termoelektrik jeneratörler, soğutma sistemleri ve enerji üretim uygulamaları gibi teknolojilerde kullanılır. Peltiyerler, Thomson etkisini kullanarak belirli bir sıcaklık farkı oluşturarak bir tarafının soğumasını ve diğ tarafta ısınmasını sağlar. Thomson etkisi Seebeck ve Peltier etkilerinin sayısal olarak bir birleriyle olan ilişkisini ifade eder(Dikmen, 2002). Thomson etkisine göre bir devreden akım(I) geçerken sadece sıcaklık farkı(ΔT) değil ermoelektrik malzemenin Thomson katsayısı, (τ) da etki eder. Bu Thomson değeri formülde şöyle ifade edilir.

$$Q_T = \tau \times I \times \Delta T \quad (3.2)$$

3.2. Termoelektrik Jeneratörler

Seebeck ve Peltier etkilerinin keşfi sonrası geliştirilen seramik yüzeyli malzemeler olan TEM'lerin ön ve arka yüzey sıcaklıkları birbirinden farklı olması sağlandığında bir elektrik akım geçişi sağlanır. Bu yüzeyler arası sıcaklık farkının artışı ile elektrik akım miktarı da arttırılabilir. Bu avantaj kullanılarak atık ısılar yardımı ile iki yüzey arasında oluşturulan sıcaklık farkı yardımı ile elektrik üretilebilmektedir. Bu da atık ısının elektrik enerjiye dönüşümünü mümkün kılmaktadır. Tam tersi durum yani elektrik enerjisi vererek ısı pompası veya soğutucu olarak da kullanılabilir.

Yarı iletkenler pozitif ve negatif yükler olan p ve n tipi yükler içermektedirler. Farklı iki yarı iletkeninden meydana gelen bir TEM çok sayıda n ve p çiftinin şekildeki gibi birbirine seri bağlanmaları sonucu meydana gelmiştir. Çok sayıda n ve p çiftlerinden meydana gelseler de piyasadaki TEM'ler genel olarak çok küçük yapılara sahip ve düşük potansiyele sahiptirler. Dolayısıyla bir adet TEM'den üretilen elektrik enerjisi miktarı düşüktür. Bu bakımdan farklı sayıdaki TEM'lerin birbirine seri bağlanması ile yüksek güçlere sahip jeneratörler elde edilmektedir. Çalışma prensiplerinin basit olması ve hareketli parça bulundurmaması, bakım gerektirmemeleri sebebi ile atık ısıların değerlendirilmesi hususunda gelecekte büyük önem taşıyacakları öngörülmektedir. Nitekim uzak yerlere elektrik aktarımında yaşanan güçlüklerden dolayı Rus bilim adamlar çok sayıda TEM'lerin bağlantısı sonucu oluşturulan termoelektrik jeneratörlerin (TEG) kullanımlarının yakından incelenmesine öncülük etmişlerdir(Dikmen, 2022).

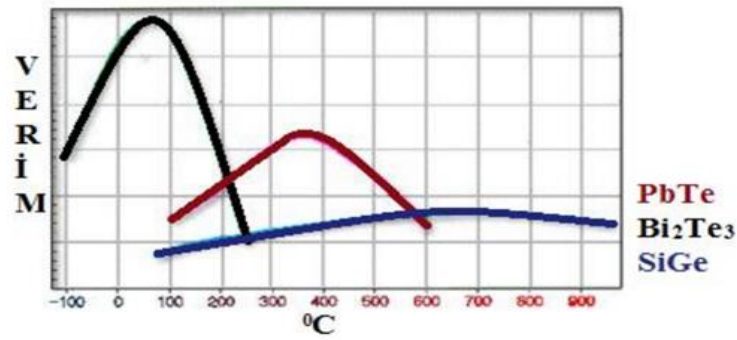


Şekil.3.2. Seri bağlanmış, yarı iletken n-p çiftleri

Temelde üretim şekilleri benzer olan TEC ve TEG'ler benzer çalışma prensibine sahip olsa da her ikisi aynı amaç için kullanılabilse de soğutma etkisi için elde edilen verim ile elektrik üretim amaçlı verimleri birbirinden farklıdır. Yani piyasada peltiyer olarak üretilen modüller soğutma amaçlı olarak geliştirildiği için soğutma verimleri daha yüksek iken elektrik üretim verimleri daha düşüktür. Öte yandan özellikle elektrik üretimi için geliştirilen TEC veya TEM modüllerin elektrik verimleri de nispeten iyileştirilmiştir.

TEG veya TEC olsun tümü de temelde kurşun, kalay ve tellür gibi yarı iletken malzemeden üretilmektedir. Soğutma amaçlı olarak geliştirilen peltiyerlerde kullanılan yarı iletkenler genel olarak Bi_2Te_3 ve Sb_2Te_3 kullanıldığı bilinmektedir(Temizer, 2012) Ancak Bizmut tellurdan(Bi_2Te_3) üretilen TEM'lerde sıcaklığın 260°C 'nin üzerine çıkamaması ve Z'in maksimum 1.2 olmasının sonucu olarak maksimum %5 verimlilik sağlanabilmektedir(Ochieng et al. 2022).

Termoelektrik soğutucularda kullanılan malzemeler Tüm termoelektrik soğutma sistemlerinin temel yapı taşı, bir DC gerilim kaynağından beslenen termoelektrik elemandır. Bu eleman, yüksek katkılı bir yarıiletken malzemenin, sıcak ve soğuk yüzeyleri oluşturan iki plaka arasına preslenmesinden meydana gelir. Yarı iletken malzeme olarak en çok Bizmut-Tellürit (Bi_2Te_3) kullanılmakla birlikte, bazı özel uygulamalarda Kurşun-Tellürit (PbTe), Silisyum-Germanyum (SiGe) ya da Bizmut-Antimon (BiSb) alaşımlarından da faydalanılmaktadır. Bizmut-Tellürit, yüksek termoelektrik verimi ve uygun sıcaklık aralığı nedeniyle tercih edilmektedir. Malzemelerin verim üzerindeki etkisi Döşkaya (2010) tez çalışmasından alınan Şekil 3.3'teki grafiğe göredir.



Şekil 3.3. Yarı iletkenlerin sıcaklığa bağlı verimleri (Döşkaya, 2010)

Termo elektrik çiftin materyal faktörü(Z) (Figure of Merit) denklem 3.2’de görüldüğü gibi ilgili termo elektrik çiftin Seebeck katsayılarına(α_p , α_n), ısı iletim katsayısı (k) ve elektrik direncine (R) bağlıdır(Dikmen, 2002).

$$Z = (\alpha_p - \alpha_n)^2 / kR \quad (3.3)$$

Elektrik iletim katsayısı (σ) ve ortalama mutlak sıcaklık (T) biliniyor ise Z:

$$Z = \alpha^2 \sigma T / k \quad (3.4)$$

Daha önce $Z < 1$ kuralı kuralı olsa da farklı alaşımlar kullanılarak artık 2 ve daha yüksek Z değerlerinin elde edilebileceği bilinmektedir(Dalar, 2019). Nitekim $\text{Bi}_2\text{Te}_3/\text{Sb}_2\text{Te}_3$, $\text{PbSeTe}/\text{PbTe}$ gibi alaşımlarla Z’in 2.5 ve 3.5 gibi yüksek değerlere çıkabileceği anlaşılmıştır.

Tablo 3.1. Farklı peltiyer modelleri ve özellikleri

Ürün	TEC 1	TEC 1	TEC 1	TEC 1	TEC 1
Tipi	12703	12704	12705	12706	12708
Çalışma Sıc.(Max) (°C)	200	200	200	200	200
Güç(Max) (W)	26.7	35.6	44.5	53.3	71.1
Sıcaklık farkı(Max) (°C)	68	68	68	68	68
Max. Gerilim(V)	15.4	15.4	15.4	15.4	15.4
Max. Akım(A)	3	4	5	6	8

4. MATERYAL VE YÖNTEM

4.1. Kullanılan TEM'ler ve Özellikleri

Seri bağlı peltiyer maddeler veya daha yüksek sıcaklıklı peltiyer maddelerin kullanımları ile verimin daha fazla arttırılacağı söylenmektedir(Meriçlli, 2016). Bu bakımdan kendi çalışmamızda daha yüksek sıcaklığa dayanıklı TEM malzemeleri farklı boyutlarda yayıcılarla birlikte seri bağlı kullanımları sağlanmıştır. Farklı modüllerin farklı malzemeden yapılması ve farklı n p dizilimlerine sahip olmalarından dolayı farklı elektrik verisi sağlayacağı bilinmektedir. Piyasada peltiyer olarak bilinen ve öncelikle soğutmada kullanılan TEC-12706 modülü tezin ana araştırma modülü olan TGM-199-2.0-1.2 modülü ile karşılaştırılmıştır. Her iki modülün özellik tablosu tablo 1'de verilmiştir. Özellik tablosunda da görüldüğü gibi TGM-199-2.0-1.2 modüller 62x62 mm boyutunda olup maksimum 200 °C sıcaklığa dayanabilecek kapasitededirler. Sıcak yüzey 200°C, soğuk yüzey ise 30°C de tutulduğunda ölçülen elektrik verileri 7.1 volt ve 4.8A akım, maksimum 34.1 Watt değerindedir. İlgili tablodan TEM'lerin iç dirençlerinin 0.9-1 ohm olduğu anlaşılmaktadır. Bu demektir ki bu TEM'ler için kurulan elektrik devresinde kullanılacak direnç minimum bu iç direnci yenmelidir. Çünkü çeşitli literatür çalışmaları göstermiştir ki bu tür modüllerde alınabilecek optimum elektrik verilerinin bu iç direncin yenilmesi durumunda, yani devre direnci iç dirence eşit olduğunda ilgili parametreler için maksimum güç elde edilecektir. Kendi çalışmamızda birden fazla farklı devreler kullanıldığından her devre için uygun direnç tespiti çalışmalarına girmemek için yüksüz elektrik verileri karşılaştırılmıştır. Özellik tablosunda da görüldüğü gibi Kullanılan termoelektrik jeneratörler 62x62 mm boyutunda olup maksimum 200 °C sıcaklığa dayanabilecek kapasitededirler. Sıcak yüzey 200°C, soğuk yüzey ise 30°C de iken ölçülen elektrik verileri 7.1 volt, 4.8A akım ve maksimum güç 34.1 Watt değerindedir.

Tablo 4.1. Kullanılan TEM modül özellikleri

Modül Özellikleri	TGM-199-2.0-1.2	TEC-12706
Sıcaklık Özellikleri	Sıcak taraf 200°C, soğuk taraf 30°C	Sıcak taraf sıcaklık aralığı 25-50°C
Sıcaklık Farkı		66-75°C
Modül boyutları	62x62mm	40x40mm
Modül et kalınlığı	4mm	3.6mm
Rac (ohm)	1	1.98-2.30
Rac (ohm) (22°C)	0.9	
Rt (K/W)	0.57	
V(volt)	7.1	12
Vmax		15.4
I(A), I _{max}	4.8	6
P(W)	34.1	92
Verim	%4.5	

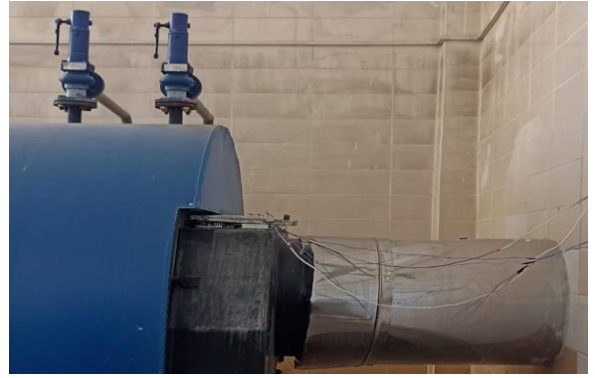
Çalışmanın temel araştırma konusu farklı boyutlarda ve dizilimlerde yayıcıların etkisini araştırmaktır. Bunun yanı sıra iki farklı modül olan TGM-199-2.0-1.2 ve TEC-12706'da karşılaştırılmıştır. Bu bakımdan ;

- 1.Kare şekilli 62-240 mm boyutlarındaki alüminyum yayıcıların denenmesi,
2. Yayıcıların iki yöndeki (X ve Y yönleri için adım uzunluklarını ifade eden p ve k) farklı adım uzunluklarının denenmesi,
3. TGM-199-2.0-1.2 ve TEC-12706 modüllerinin denenmesi şeklinde üç ana başlıkta inceleme yapılmıştır.

Çalışmanın başında çalışma alanı olarak baca belirtilse de daha sonra büyük çaplı(ortalama 1.5 metre çapında) baca olması sebebi ile çalışma için uygun olmadığı, kazanın yalıtılmayan sıcak yüzeylerinden verilerin alınması uygun görülmüştür. Ayrıca kazanın yan yüzeylerinden veri alınmaya çalışılmış olsa da uygun yapıştırıcı malzeme olmaması, yapıştırma amaçlı olarak termal macun tercih edilmesi gerekliliği, termal macunun yapıştırma özelliğinin ise zayıf olması dolayısıyla kazanın dikey yan yüzeyleri yerine kazanın üst kısmında yer alan 250 mm genişliğinde ve 2 metre uzunluğundaki yatay yüzeyin kullanımının uygun olduğu tespit edilmiştir (Şekil 4.1a ve Şekil 4.1b).



a

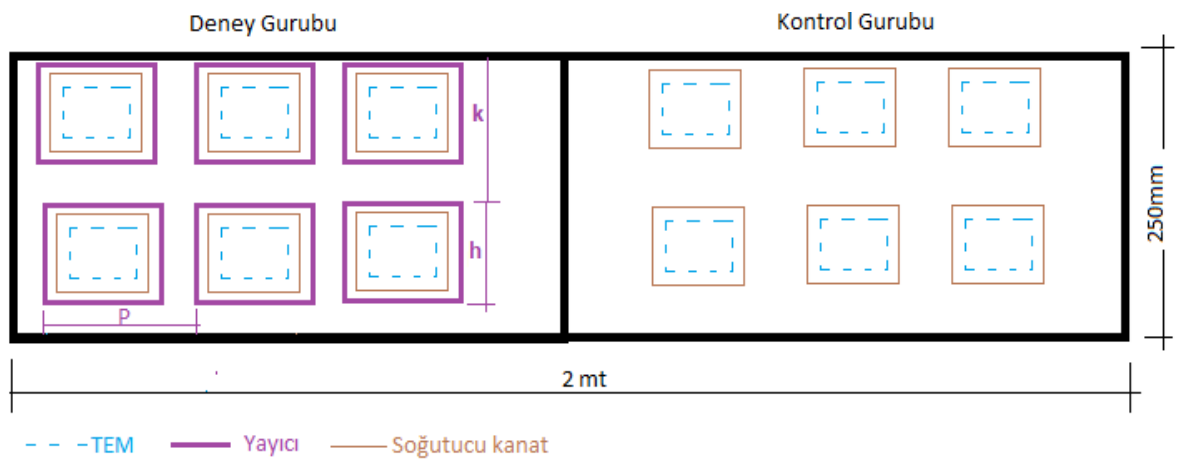


b

Şekil 4.1. a) Kazan ön görünüşü, b) Deney yapılan arka yüzey

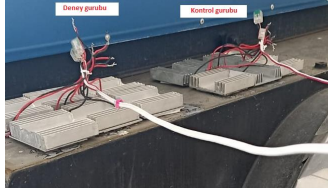
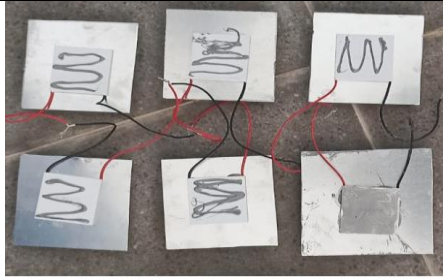
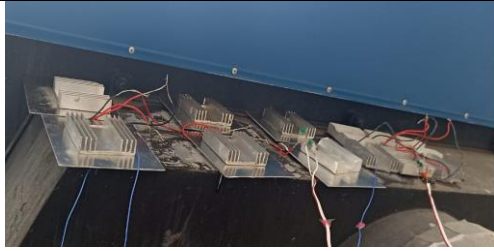
4.2. Deney ve Kontrol Gurubu Parametre Tanımları

İlgili yüzeyde bir deney, bir de kontrol gurubunun uygun şekilde kurulumu için Şekil 4.2’de ki gibi 2x3 adet TEM seri bağlanarak deney gurubuna ait TEG sistemi, seri bağlı 2x3 TEM ise kontrol gurubu için seri bağlanarak kontrol gurubu TEG kullanılmıştır. Deney ve kontrol gurubu temsili şekli Şekil 4.2’de de görüldüğü gibi deney gurubunda kontrol gurubuna göre alüminyum kanatlardan farklı olarak yayıcı kullanılmıştır. Yayıcı genişliği h , iki TEM arasındaki mesafe olan adım genişliği ise X yönünde p , Y yönünde k olarak ifade edilmiştir. Tüm deneyler boyunca değiştirilecek h , p ve k parametreleri 62-240mm boyut aralığındadır. Şekil 4.2’de açıklanan parametreler için üzerinde ölçüm yapılan bazı parametre senaryoları Tablo 4.2’de deney fotoları ile birlikte verilmiştir.

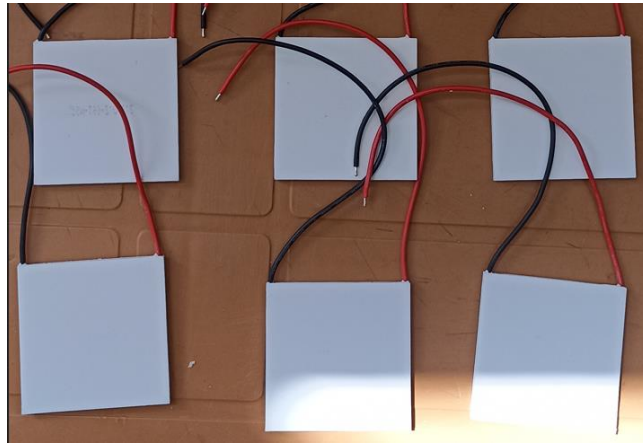


Şekil 4. 2. Deney yapılan kazan yüzey ölçüleri ve deney/kontrol gurubu parametreleri

Tablo 4.2. Kullanılan parametre senaryoları

$h = p = k = 80\text{mm}$	
$h = p = k = 140\text{mm}$	
$h = p = k = 120\text{mm}$	
$h = k = 120, p = 200\text{mm}$	
Ortak Yayıcı kullanmanın etkisi (1mm kalınlıklı tek alüminyum plaka üzerinde kanatlar)	
Ortak Yayıcı kullanmanın etkisi (1mm kalınlıklı iki alüminyum plaka üzerinde kanatlar)	
Farklı modüllerin (TEC-12706, TGM-199-2.1-1.2) denenmesi	

Seri bağlanan 2x3 adet TEM'in görüntüsü Şekil 4.3'te verilmiştir. TEM'ler herhangi bir soğutmaya tabi tutulmamaları durumunda aşırı ısınmalar sonucunda bozulacak ve ömürler kısılacaktır. Bu bakımdan 80x20 mm kesitinde 2 metre boyuna sahip alüminyum kanat profili, 80x80 mm kare boyutunda kestirilerek hazırlanmıştır(Şekil 4.4). Bu kanatlar hem deney hem de kontrol gurubunda kullanılmıştır. TEM modüllerin sıcak ve soğuk yüzeylerle olan temasında ısı iletimini kolaylaştırmak, ısı iletiminin kesintiye uğramasını önlemek amaçlı olarak termal macun kullanılmıştır.



Şekil 4.3. Seri bağlanmak üzere hazırlanan 2x3 adet TEM'in görüntüsü



Şekil 4.4. 80x80 mm kare şekilli, 20mm derinlikli alüminyum kanatlar

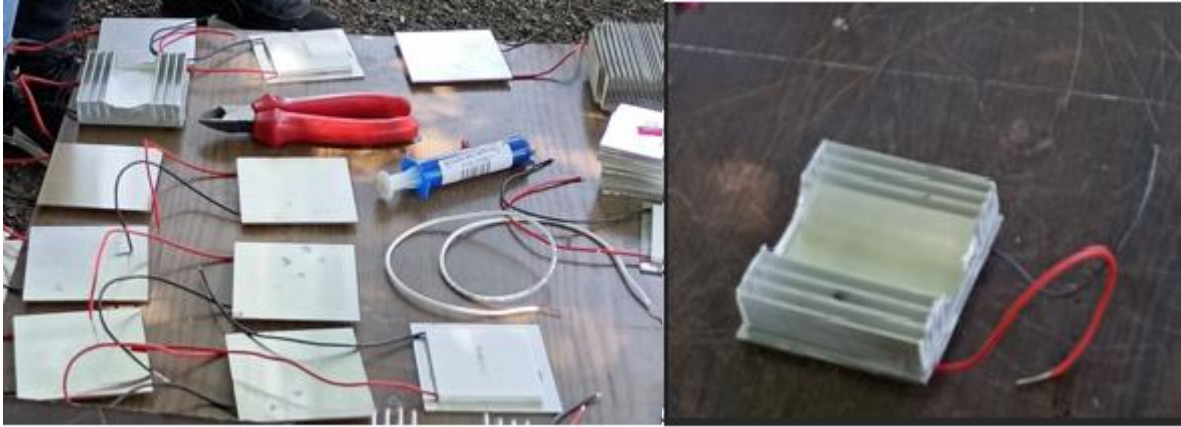
Deney gurubunda farklı ölçülerde yayıcılar ve dizilimler için çeşitli denemeler yapılmıştır(Şekil 4.5). 62, 75, 80, 100, 120, 140mm boyutlarında 1mm ve 2mm kalınlıkların alaşımlı alüminyum yayıcılar kullanılmıştır.



Şekil 4.5. Farklı boyutlardaki kare şekilli alaşımlı alüminyum yayıcı örnekleri

4.3. Yapıştırma ve Montaj İşlemleri

Sırasıyla TEM, yayıcı ve kanat şeklinde dizilen malzemelerin bağlantısı için termal macun kullanılmıştır. Yani yayıcıların TEM'lere ve alüminyum kanatlarının yayıcıya montajı şekildeki gibi termal macun ile gerçekleştirilmiştir(Şekil 4.6). Ayrıca boşta kalan TEM tarafı ise yine termal macun ile kazan sıcak yüzeyine temas ettirilmiştir. Bu şekilde termal macun sayesinde kazandan TEM'e, TEM'den yayıcıya, yayıcıdan ise kanata doğru ısı geçişi kolaylaştırılmıştır. Dolayısıyla TEM ve kanat arasındaki yayıcılar farklı boyutlar için test edilmeye hazırlanmıştır(Şekil 4.6).



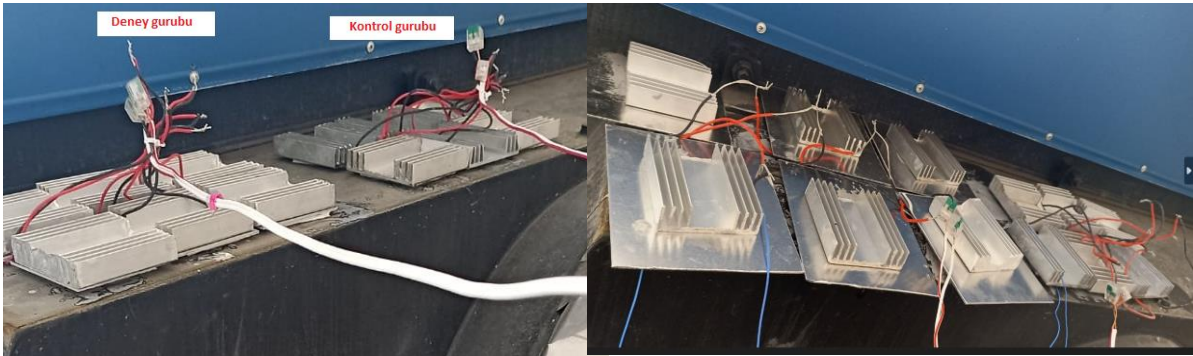
a

b

Şekil 4.6. Yayıcı ve kanatların termal macun ile montajı, a)TEM-Yayıcı montajı, b)Kanatçık montajı

4.4. Deney Düzenekinin Kurulması

Deney düzeneğinden $h = p = k = 80\text{mm}$ için alınan şekilde de görüldüğü gibi deney ve kontrol gurubunda yer alan TEM'lerin tümü seri bağlanmıştır. TEM elektrik kabloları yanmaz olmasına rağmen yine de önlem olarak tüm kabloların kazan temasını kesmek veya kısa devre oluşumunu önleme hususuna dikkat edilmiştir. Ana kablolar da duvardan elektrik tavaşı yardımı ile dataloggera kadar uzatılmıştır. Genel olarak iki ana kablodan elektrik verisi, 4 termokulptan ise sıcaklık verisi alınmıştır. Sıcaklık verileri genel olarak denenen guruba göre farklı olmak üzere kazan yüzeyinden, alüminyum kanat yüzeylerinden, FDM malzeme içeren konteynır yüzeyinden ve ortam sıcaklığı şeklinde alınmıştır(Şekil 4.7).



a

b

Şekil 4.7. Deney ve kontrol gurubu ($h = p = k = 80\text{mm}$)

Deney ve kontrol gurubunda şekildeki gibi iki avometre kullanılarak eş zamanlı akım ve voltaj değerleri alınmıştır. Soğutmanın iyileştirilmesi için farklı yayıcılar kullanılmış ve mesafeler değiştirilmiştir. Deney gurubunda akım, voltaj ve güç değerleri I_d , V_d , P_d ; kontrol gurubu verileri I_k , V_k , P_k ; verilerdeki artış oranları ise I_A , V_A , P_A ile ifade edilmiştir. TEM'lerin ısınan ve soğuyan yüzeyleri arasındaki sıcaklık farklarının artması hem iyi bir soğutma hem de elektrik değerlerinin artışı için çok önemlidir. Bu bakımdan TEM'lerin kazan yüzeyine değdiği yerde kazan sıcaklığı T_1 ve T_2 ile ölçülmüştür. TEM'lerin soğuk yüzeyinde termal macun ile yapıştırılmış yayıcılar bulunduğu buradan sıcaklık veri alımı zor olduğu için, soğuk yüzey sıcaklığı kanat yüzeyinden alınmıştır. Hem deney hem de kontrol gurubunda alınan aynı veriler kullanıldığı için hata payı ihmal edilebilir. Deney gurubu kanat sıcaklığı genel olarak T_3 ile kontrol gurubu kanat sıcaklığı ise T_4 ile alınmıştır (Şekil 4.7b ve Şekil 4.8). TEM modüllerinin kazan ile temas eden yüzey sıcaklıkları kazan yüzeyinde ölçülen sıcaklığa eşit alınmıştır.



a



b

Şekil 4.8. Elektrik ve sıcaklık verilerinin alınması

Kazan yüzey sıcaklıkları, kanat, FDM ve ortam sıcaklıkları detayları Tablo 4.3'te verilen datalogger ile ölçülmüştür (Şekil 4.8 ve Tablo 4.3). Anlık sıcaklık kontrolleri ise hassasiyeti 0,1 veya 1°C olan iki kanallı dijital sıcaklık ölçüm aleti ile yapılmıştır. Kullanılan ölçüm cihazları ve özellikleri Tablo 4.3'te verilmiştir.

Tablo 4. 3. Kullanılan cihazlar ve özellikleri

Cihaz adı	Modeli	Ölçüm aralığı
Dijital Multimetre Ölçü Aleti	Unit UT 61E	Max 10A AC/DC akım, Max 1000DC volt, Max 750AC volt
Dijital Sıcaklık Ölçüm aleti, 2 kanallı	CEM DT612	-50 ÷ 1300°C ; Hata oranı 0.1 veya 1 °C
40 kanallı datalogger	DAQ9600 (Netes)	Max 300DC/AC voltaj ölçümü Max 1 A AC/DC akım ölçümü, 1300°C ye kadar sıcaklık ölçümü

4.5. Elektriksel Denklemler

TEG'lerden üretilen akım ve voltaj kullanılarak üretilen güç 1 denklemi ile hesaplanmıştır. Bu denklemde P, V, I sembolleri sırasıyla güç, voltaj ve akımı ifade etmektedir.

$$P = V \times I \quad (4.1)$$

Deney gurubundaki TEM'lerin sıcak ve soğuk yüzeydeki sıcaklık farkı (ΔT_d) ilgili kazan sıcaklığı (T_1) ve kanat sıcaklığı (T_3) farkı ile hesaplanmış; kontrol gurubunun sıcaklık farkı (ΔT_k) ise ilgili kazan sıcaklığı T_2 ve kanat sıcaklığı T_4 'ün farkı alınarak hesaplanmıştır. İlgili sıcaklık farkları denklem 4.2 ve 4.3 ile gösterilmiştir.

$$\Delta T_d = T_1 - T_3 \quad (4.2)$$

$$\Delta T_k = T_2 - T_4 \quad (4.3)$$

Akım, voltaj ve güç artış oranları olan I_A , V_A , P_A deney ve kontrol gurubu ilgili verileri kullanılarak sırasıyla denklem 4, 5, 6 ile hesaplanmıştır.

$$I_A = [(I_d - I_k)/I_k] \times 100 \quad (4.4)$$

$$V_A = [(V_d - V_k)/V_k] \times 100 \quad (4.5)$$

$$P_A = [(P_d - P_k)/P_k] \times 100 \quad (4.6)$$

5. BULGULAR VE TARTIŞMA

Deney ve kontrol gurubu olarak iki farklı gurup kullanılan bu çalışmada her iki gurupta da TGM-199-2.0-1.2 modülleri kullanılmıştır. TEM'lerin ısınmanın yan etkisinden dolayı bozulmalarını önlemek amaçlı olarak hem deney hem de kontrol gurubunda yalnız 80mm x 80mm boyutlarında 20mm derinliğinde alaşımlı alüminyum kanatçık kullanılarak, $p = k = 80\text{mm}$ düzeni sağlanmıştır. Deney gurubunda farklı olarak ayrıtı h olan kare şekilli alaşımlı alüminyum yayıcılar, farklı p ve k düzenleri için ilave edilerek sonuçlar değerlendirilmiştir. Ayrıtı uzunlukları (h) sırasıyla 62mm, 75mm, 80mm, 120mm, 140mm olarak alınmıştır. 62mm, 75mm, 80mm boyutlu yayıcılar 2mm et kalınlığına, diğerleri ise 1.5mm et kalınlıklarına sahiptir. Deney ve kontrol gurubunda kazan yüzey sıcaklıkları T_1 ve T_2 ile; Kanatçık sıcaklıkları ise sırasıyla T_3 ve T_4 ile alınmıştır. Deney gurubu kazan yüzey sıcaklık ve kanatçık sıcaklık farkı (ΔT_d) T_1 ve T_3 sıcaklık farklarında, kontrol gurubu ΔT_k sıcaklık farkı ise T_2 ve T_4 sıcaklık farkından bulunmuştur.

5.1. Yayıcı Boyutları ve Mesafesinin (p ve k) Etkisi

5.1.1. 62mm Yayıcı Etkisi

2mm et kalınlıklı 62mm boyutlu kare şekilli alaşımlı alüminyum yayıcı etkisi Tablo 5.1'de verilmiştir. Tabloda deney gurubu elektrik voltaj, akım ve güç değerleri V_d , I_d , P_d ; kontrol gurubu değerleri ise V_k , I_k , P_k olarak verilmiştir. Deney gurubunda kullanılan yayıcılardan dolayı meydana gelen voltaj, akım ve güç artış oranları ise $V_A(\%)$, $I_A(\%)$, $P_A(\%)$ ile gösterilmiştir. Kazan devre dışı iken (10:45 - 11:52) güç artış oranının %183 ile başlayıp, %18 ile bittiği görülmektedir. Deneyin başlangıç aşamasında kazan yüzey sıcaklığı ile kanatçık sıcaklık farkı maksimum olduğu için güç artış oranı da maksimumdur. Yaklaşık bir saat sonra kanatçıklardaki sıcaklık artışından dolayı sıcaklık farkı artışı güç artışını düşürmüştür.

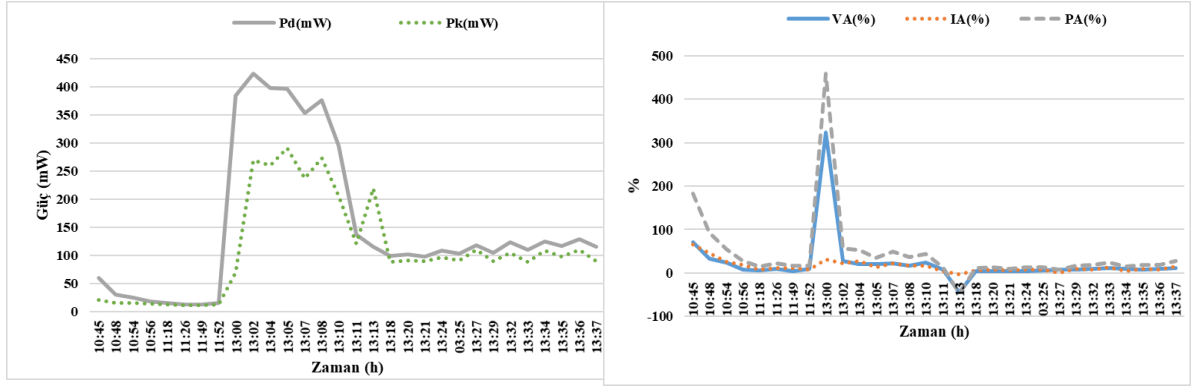
Tablo 5.1'deki veriler Şekil 5.1'e aktarılmıştır. Ayrıca kazanın devre dışı olduğu bu zaman aralığında gittikçe soğumadan dolayı voltaj, akım ve güç artış oranlarının

parabolik olarak azaldığı da görülmektedir. Kazanın devreye girdiği 13:00- 13:36 arasında deney ve kontrol gurubu güçlerinin arttığı, bunun yanı sıra deney gurubundaki gücün kontrol gurubunun çok üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Şekil 5.1b’de de kazanın devreye girdiği andaki voltaj ve güç artış oranlarının keskin bir şekilde yükseldiği görülmektedir. Bunun sıcaklık farkının ani artışının doğal bir sonucu olduğu söylenebilir. Etkili bir soğutmanın sağlanabilmesi bu artış hızını yükselteceği açıktır.

Tablo 5.1. 62x62 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 62\text{mm}$

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu											
	$I_d(\text{mA})$	$V_d(\text{mV})$	$P_d(\text{mW})$	$I_k(\text{mA})$	$V_k(\text{mV})$	$P_k(\text{mW})$	$V_A(\%)$	$I_A(\%)$	$P_A(\%)$	T_1	T_2	T_3	T_4	ΔT_d	ΔT_k
Kazan devre dışı															
10:45	86	694	59,684	52	405	21,06	71	65	183						
10:48	58	522	30,276	40	393	15,72	33	45	93						
10:54	49	488	23,912	39	394	15,366	24	26	56						
10:56	45	392	17,64	38	362	13,756	8	18	28						
11:18	39	376	14,664	36	354	12,744	6	8	15						
11:26	38	338	12,844	34	307	10,438	10	12	23	63	75	57	69	6	6
11:49	38	330	12,54	34	317	10,778	4	12	16		75			0	0
11:52	40	365	14,6	37	335	12,395	9	8	18	67	75	61	70	6	5
Kazan devrede															
13:00	203	1890	383,67	154	445	68,53	325	32	460					0	0
13:02	215	1970	423,55	175	1540	269,5	28	23	57					0	0
13:04	204	1950	397,8	160	1620	259,2	20	28	53					0	0
13:05	204	1940	395,76	181	1610	291,41	20	13	36					0	0
13:07	193	1830	353,19	158	1500	237	22	22	49					0	0
13:08	200	1880	376	170	1610	273,7	17	18	37	113			90	12	11
13:10	179	1650	295,35	154	1336	205,744	24	16	44					0	0
13:11	104	1310	136,24	99	1220	120,78	7	5	13					0	0
13:18	98	1007	98,686	92	964	88,688	4	7	11	109			92	7	8
13:20	99	1028	101,772	92	980	90,16	5	8	13					0	0
13:21	98	996	97,608	93	963	89,559	3	5	9					0	0
13:24	104	1038	107,952	96	998	95,808	4	8	13					0	0
03:25	102	1015	103,53	95	958	91,01	6	7	14					0	0
13:27	111	1064	118,104	111	988	109,668	8	0	8					0	0
13:29	103	1016	104,648	94	948	89,112	7	10	17					0	0
13:32	114	1083	123,462	105	990	103,95	9	9	19					0	0
13:33	107	1021	109,247	95	922	87,59	11	13	25					0	0
13:34	115	1079	124,085	110	985	108,35	10	5	15					0	0
13:35	107	1088	116,416	97	1007	97,679	8	10	19					0	0
13:36	115	1120	128,8	107	1019	109,033	10	7	18					0	0

Kazanın çalışma kademesinin düşürüldüğü 13:11 sonrasında deney ve kontrol gurubunun her ikisinin de güçlerinin ve ilgili artış oranlarının düştüğü görülmektedir (Şekil 5.1a, Şekil 5.1b). Tüm deney boyunca kazanın devre dışı veya devrede olduğu süreçte yayıcı etkisi ile deney gurubu elektrik verileri kontrol gurubuna göre çok yüksek olduğu görülmektedir. 62x62mm lik yayıcıların kullanılması ile voltaj, akım ve güç ortalama artış oranları %23, %15, %45 olarak hesaplanmıştır.



a)

b)

Şekil 5.1. 62x62mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 62\text{mm}$

Bu deneyde yetersiz termal macun kullanımının etkisi de görülmüştür. Nitekim yayıcı kullanılıyor olmasına rağmen deney gurubunun verileri kazanın devre dışı olduğu süreçte yetersiz termal macunun da etkisi ile önemli oranlarda düşük çıkmıştır. Bilindiği gibi TEM'lerin verimli çalışabilmesi için, modülün sıcak yüzeyindeki ısının düzgün bir şekilde soğutma yüzeyine aktarılması gerekir. Eğer bu ısı transferi düzgün sağlanmazsa, modül verimsiz çalışabilir ve aşırı ısınabilir. Termal macun Kazan yüzeyi ve TEM arasındaki veya TEM ile kanatçıklar arasındaki mikroskobik boşlukları doldurur. Bu boşluklar, olduğu gibi bırakılır ise ısının geçişine engel olabilir. Termal macun, bu boşlukları doldurur ve ısının daha verimli bir şekilde iletilmesini sağlar, böylece modülün ısıyı daha hızlı ve etkin bir şekilde soğutma yüzeyine iletmesi sağlanır. Kazan devreye alınmadan önce yeterli termal macun sağlanması ile sonuçların da önemli oranda artış gösterdiği gözlenmiştir.

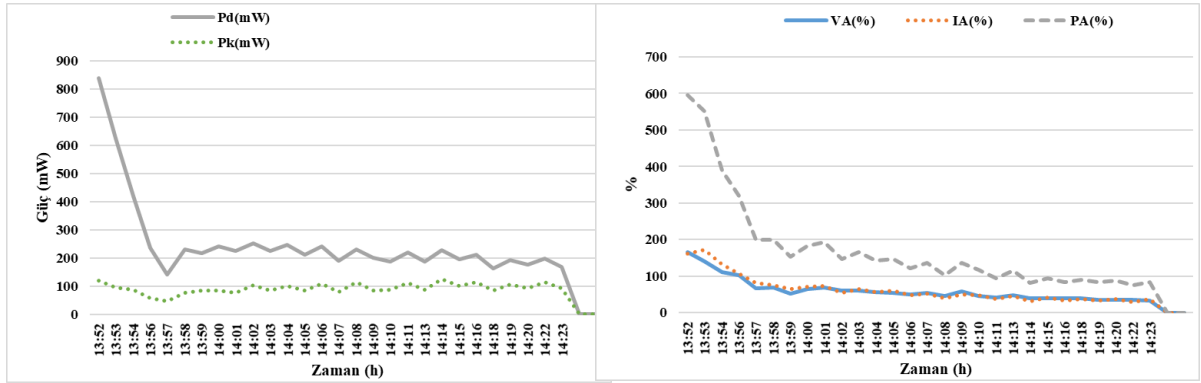
5.1.2. 75mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilimlerinin Etkisi ($p = k = 75\text{mm}$)

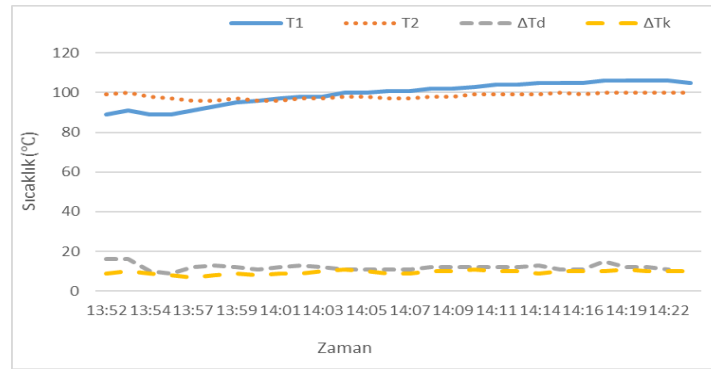
75x75mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 75\text{mm}$ için elde edile veriler Tablo 5.2’de verilmiştir. Kontrol gurubundan farklı olarak 75x75mm yayıcı kullanılan deney gurubuna ait güç değerlerinin kontrol gurubundan çok daha yüksek olduğu görülmektedir. 13:52- 14:23 saat aralığında alınan verilere göre çalışmanın başında voltaj, akım ve güç artış oranları sırasıyla %165, %162, %595 iken, deney sonunda bu oranlar %34, %38, %85 oranlarına düşmüştür. Ancak bu düşük oranlar bile aslında TEM’lerin soğutulmasında ve elektrik verilerinin artışında yayıcının ne kadar büyük öneme sahip olduğunu ortaya çıkarmaktadır. Minimum artış oranları akımda, maksimum artış oranları ise güçte sağlanmıştır. Elde edilen tüm deneysel verilerinin ortalamalarına göre voltaj, akım ve güç artış oranları sırasıyla %61, 63 ve 175 olarak hesaplanmıştır. Bu artış oranlarının deney ve kontrol gurubuna ait olan sıcaklık farklarının bir sonucu olduğu da Tablo 5.2 ve Şekil 5.2’den anlaşılmaktadır.

Verilerin alındığı süreç boyunca deney gurubunda kullanılan yayıcı etkisi açık olarak Şekil 5.2’de görülmektedir. Nitekim kontrol gurubundaki ortalama güç 100mW değerinde iken deney gurubunda ortalama 200mW olduğu görülmektedir. Bu; deney gurubunda kullanılan yayıcının oldukça etkili olduğunun bir göstergesi olarak ifade edilebilir. Ölçümler kazanın çalışmaya başlaması ile birlikte alındığı için deney başında deney gurunun güç değeri 850mW olarak başlamış, 5 dakika içerisinde deney ve kontrol gurubu sıcaklık farklarının birbirine yaklaşması sonucu hızla düşmüştür. İlk beş dakika sonrasında deney ve kontrol gurubu arasında fark süreç boyunca azalarak ilerlemiştir. Süreç boyunca deney ve kontrol gurubundan alınan kazan sıcaklıkları T_1 ve T_2 90 ile 100°C arasında seyretmiştir. Yine deney gurubu sıcaklık farkının, kontrol gurubu sıcaklık farkının üzerinde olduğu da görülmektedir (Tablo 5.2 ve Şekil 5.3).

Tablo 5.2. 75x75 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 75\text{mm}$

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu			Artış oranları			Sıcaklıklar					
	I _a (mA)	V _a (mV)	P _a (mW)	I _k (mA)	V _k (mV)	P _k (mW)	V _A (%)	I _A (%)	P _A (%)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	ΔT_d	ΔT_k
13:52	304	2760	839,04	116	1040	120,64	165	162	595	89	99	73	90	16	9
13:53	274	2280	624,72	101	950	95,95	140	171	551	91	100	75	90	16	10
13:54	230	1824	419,52	99	867	85,833	110	132	389	89	98	79	89	10	9
13:56	169	1400	236,6	82	689	56,498	103	106	319	89	97	80	89	9	8
13:57	125	1120	140	69	675	46,575	66	81	201	91	96	79	89	12	7
13:58	160	1440	230,4	91	847	77,077	70	76	199	93	96	80	88	13	8
13:59	154	1400	215,6	93	914	85,002	53	66	154	95	97	83	88	12	9
14:00	160	1500	240	93	914	85,002	64	72	182	96	96	85	88	11	8
14:01	157	1440	226,08	91	847	77,077	70	73	193	97	96	85	87	12	9
14:02	168	1500	252	109	935	101,915	60	54	147	98	97	85	88	13	9
14:03	157	1437	225,609	95	890	84,55	61	65	167	98	97	86	87	12	10
14:04	162	1521	246,402	104	977	101,608	56	56	143	100	98	89	87	11	11
14:05	152	1387	210,824	95	899	85,405	54	60	147	100	98	89	88	11	10
14:06	163	1485	242,055	110	990	108,9	50	48	122	101	97	90	88	11	9
14:07	145	1300	188,5	95	840	79,8	55	53	136	101	97	90	88	11	9
14:08	160	1440	230,4	115	987	113,505	46	39	103	102	98	90	88	12	10
14:09	147	1359	199,773	98	860	84,28	58	50	137	102	98	90	88	12	10
14:10	145	1289	186,905	98	881	86,338	46	48	116	103	99	91	88	12	11
14:11	153	1426	218,178	112	1002	112,224	42	37	94	104	99	92	89	12	10
14:13	144	1300	187,2	99	880	87,12	48	45	115	104	99	92	89	12	10
14:14	160	1428	228,48	123	1025	126,075	39	30	81	105	99	92	90	13	9
14:15	145	1337	193,865	103	965	99,395	39	41	95	105	100	94	90	11	10
14:16	150	1411	211,65	113	1018	115,034	39	33	84	105	99	94	89	11	10
14:18	133	1227	163,191	97	882	85,554	39	37	91	106	100	91	90	15	10
14:19	145	1333	193,285	108	979	105,732	36	34	83	106	100	94	89	12	11
14:20	138	1267	174,846	100	929	92,9	36	38	88	106	100	94	90	12	10
14:22	148	1345	199,06	115	992	114,08	36	29	74	106	100	95	90	11	10
14:23	131	1288	168,728	95	962	91,39	34	38	85	105	100	96	90	9	10

Şekil 5.2. 75x75mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 75\text{mm}$



Şekil 5.3. Kazan sıcaklıkları ve sıcaklık farkları

5.1.3. 75mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilimlerinin Etkisi ($p = k = 130\text{mm}$)

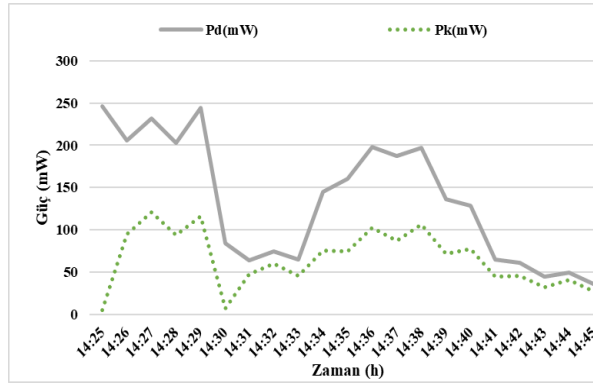
75x75mm yayıcı için p ve k değerinin 130mm olduğu parametrelerde alınan veriler Tablo 5.3'te verilmiştir. 75x75mm yayıcı ile p ve k değerinin 130mm olduğu parametreler için güç-zaman ve güç artış oranı-zaman grafikleri Şekil 5.4 ve Tablo 5.3'te verilmiştir. Bu veriler aslında Tablo 5.2'nin bir devamı gibi düşünülür ise p ve k değeri 75mm için tablo 5.2, P ve k değeri 130mm için Tablo 5.3 doldurulmuştur. Dolayısıyla 14:23'te (Tablo 5.2'de) voltaj, akım ve güç artış oranları sırasıyla %34, %38 ve %85 iken, p ve k değerinin 130mm çıkarıldığı iki dakika sonraya yani 14:25'te (Tablo 5.3) voltaj, akım ve güç artış oranları %3774, %34, %5076 olduğu görülmektedir. Dolayısıyla p ve k değeri 75mm'ten 130mm'e çıkarılınca voltajda yüksek orandaki artış, gücün de önemli oranda artmasını sağlamıştır.

Veri alım süreci boyunca deney gurubu verilerinin kontrol gurubuna göre çok daha yüksek olduğu anlaşılmaktadır. Bu durumun deney gurubuna ait sıcaklık farkının kontrol gurubunun sıcaklık farkının üzerinde olması kaynaklı olduğu da açıktır (Şekil 5.5). Deney gurubuna ait ortalama voltaj, akım ve güç artış oranlarının kontrol gurubuna göre %48, %32 ve %109 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. En düşük artış oranı akımda, en yüksek artış oranı ise güçte sağlanmıştır. Maksimum artış oranları kazan devrede iken, minimum artışlar da kazan devre dışı iken sağlanmıştır.

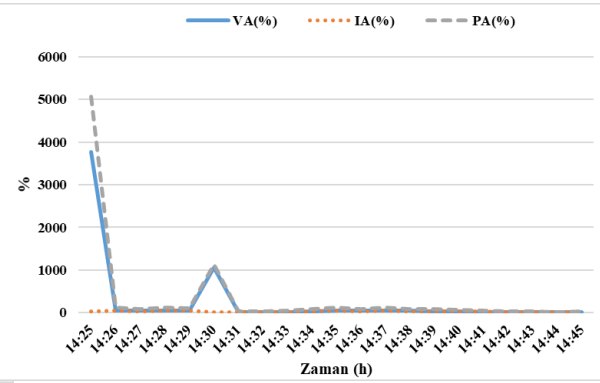
Deney boyunca alınan sıcaklık verilerine göre deney gurubu sıcaklık farkı 11-17°C arsında değişimi iken, kontrol gurubu ise 6-10°C arasında değişmiştir. Tüm sonuçlarda yayıcı etkisi ile deney gurubu sıcaklık farkı kontrol gurubunun çok üzerindedir.

Tablo 5.3. 75x75 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 130\text{mm}$

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu			Artış oranları								
	$I_d(\text{mA})$	$V_d(\text{mV})$	$P_d(\text{mW})$	$I_k(\text{mA})$	$V_k(\text{mV})$	$P_k(\text{mW})$	$V_A(\%)$	$I_A(\%)$	$P_A(\%)$	T_1	T_2	T_3	T_4	ΔT_d	ΔT_k
Kazan devrede															
14:25	163	1511	246,293	122	39	4,758	3774	34	5076	106	100	90	90	16	10
14:26	151	1360	205,36	103	916	94,348	48	47	118	107	100	90	90	17	10
14:27	160	1451	232,16	118	1025	120,95	42	36	92	107	99	89	89	18	10
14:28	151	1344	202,944	102	921	93,942	46	48	116	106	99	93	89	13	10
Kazan devre dışı															
14:29	164	1487	243,868	110	1051	115,61	41	49	111	104	98	93	89	11	9
14:30	96	876	84,096	90	76	6,84	1053	7	1129	103	97	91	88	12	9
14:31	86	744	63,984	73	650	47,45	14	18	35	101	96	88	88	13	8
14:32	92	808	74,336	84	713	59,892	13	10	24	100	95	88	88	12	7
14:33	85	760	64,6	72	630	45,36	21	18	42	100	95	85	87	15	8
14:34	130	1113	144,69	93	814	75,702	37	40	91	100	95	86	87	14	8
14:35	129	1243	160,347	87	862	74,994	44	48	114	101	96	87	87	14	9
14:36	150	1320	198	110	928	102,08	42	36	94	102	95	85	87	17	8
14:37	141	1327	187,107	97	900	87,3	47	45	114	101	96	89	87	12	9
14:38	142	1385	196,67	111	960	106,56	44	28	85	100	95	85	86	15	9
14:39	127	1073	136,271	91	790	71,89	36	40	90	99	95	85	86	14	9
14:40	119	1081	128,639	95	815	77,425	33	25	66	97	93	84	86	13	7
14:41	85	760	64,6	69	640	44,16	19	23	46	96	92	83	85	13	7
14:42	82	741	60,762	72	639	46,008	16	14	32	94	91	83	85	11	6
14:43	70	635	44,45	58	550	31,9	15	21	39	92	90	85	84	7	6
14:44	75	653	48,975	70	583	40,81	12	7	20	92	90	79	83	13	7

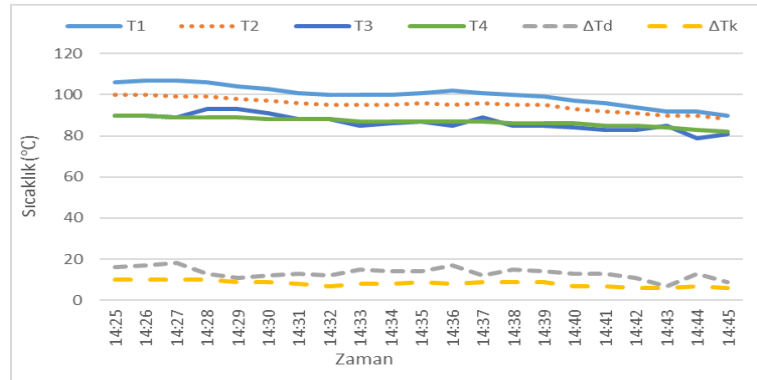


a



b

Şekil 5.4. 75x75mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 130\text{ mm}$, a) Güç, b) Artış oranları



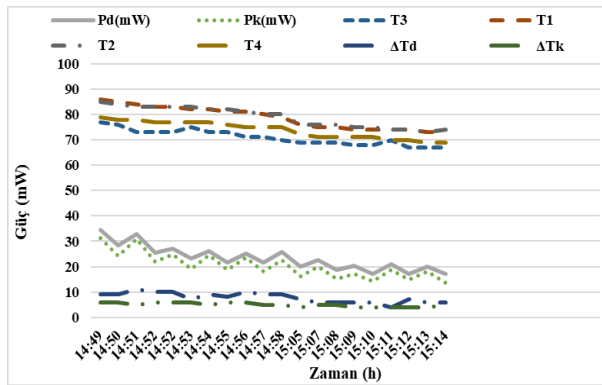
Şekil 5.5. Kazan sıcaklıkları ve sıcaklık farkları

5.1.4. 75mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilimlerinin Etkisi ($p = k = 160\text{mm}$)

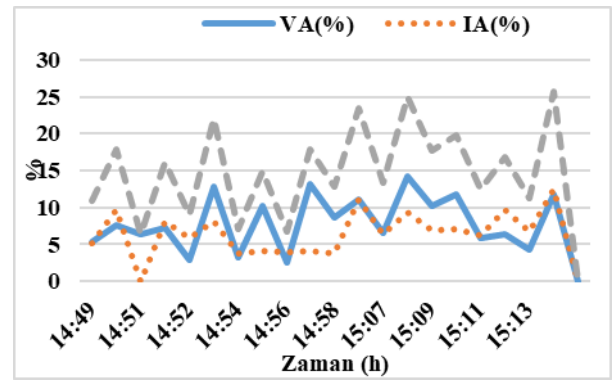
p ve k değeri 130'dan 160mm'e çıkarılınca elde edilen sonuçlar Tablo 5.4'te verilmiştir. P ve k değerlerinin 130'dan 160mm'e çıkarılması ile elektrik verilerinin de önemli oranda artmıştır. Alınan veriler kazan devre dışı iken alınmasına rağmen verilerin artış oranları uzun süre devam etmiştir. Elektrik verilerine göre ortalama voltaj, akım ve güç artış oranları sırasıyla %8, %6.4, %14 olarak bulunmuştur. Kazan devre dışı iken alınan tüm sıcaklık verilerine göre deney gurubu sıcaklık farkı 4-10°C arasında değişmiş, kontrol gurubu ise 4-6°C arasında değişkenlik göstermiştir. En düşük artış oranı akımda, en yüksek artış oranı ise güçte sağlanmıştır.

Tablo 5.4. 75x75 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 160\text{mm}$

Zaman	Deneý gurubu			Kontrol gurubu											
	I _d (mA)	V _d (mV)	P _d (mW)	I _k (mA)	V _k (mV)	P _k (mW)	V _A (%)	I _A (%)	P _A (%)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	ΔT _d	ΔT _k
Kazan devre dışı															
14:49	61	566	34,526	58	537	31,146	5	5	11	86	85	77	79	9	6
14:50	57	500	28,5	52	465	24,18	8	10	18	85	84	76	78	9	6
14:51	62	530	32,86	62	498	30,876	6	0	6	84	83	73	78	11	5
14:52	53	483	25,599	49	450	22,05	7	8	16	83	83	73	77	10	6
14:52	54	504	27,216	51	490	24,99	3	6	9	83	83	73	77	10	6
14:53	53	440	23,32	49	390	19,11	13	8	22	82	83	75	77	7	6
14:54	55	476	26,18	53	461	24,433	3	4	7	82	82	73	77	9	5
14:55	50	430	21,5	48	390	18,72	10	4	15	81	82	73	76	8	6
14:56	52	482	25,064	50	470	23,5	3	4	7	81	81	71	75	10	6
14:57	50	430	21,5	48	380	18,24	13	4	18	80	80	71	75	9	5
14:58	54	475	25,65	52	437	22,724	9	4	13	79	80	70	75	9	5
15:05	50	400	20	45	360	16,2	11	11	23	76	76	69	72	7	4
15:07	50	455	22,75	47	427	20,069	7	6	13	75	76	69	71	6	5
15:08	47	400	18,8	43	350	15,05	14	9	25	75	76	69	71	6	5
15:09	47	430	20,21	44	390	17,16	10	7	18	74	75	68	71	6	4
15:10	45	380	17,1	42	340	14,28	12	7	20	74	75	68	71	6	4
15:11	51	413	21,063	48	390	18,72	6	6	13	74	74	70	70	4	4
15:12	45	384	17,28	41	361	14,801	6	10	17	74	74	67	70	7	4
15:13	48	418	20,064	45	401	18,045	4	7	11	73	73	67	69	6	4
15:14	45	380	17,1	40	340	13,6	12	13	26	73	74	67	69	6	5



a



b

Şekil 5.6. 75x75mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 160\text{ mm}$, a) Güç, b) Artış oranları

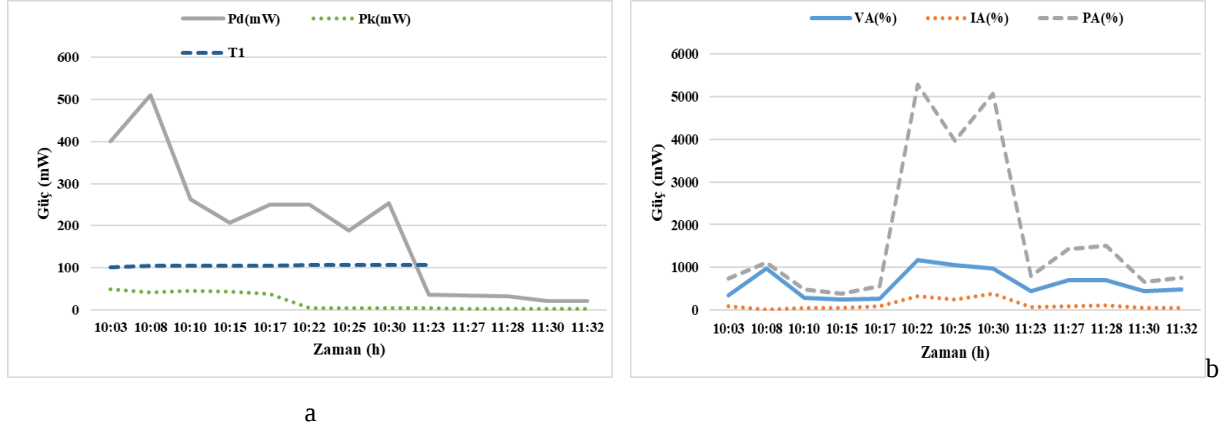
5.1.5. 80x80mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi

Tablo 5.5'te 80mm boyutunda 2mm kalınlıklı yayıcı kullanılan deney gurubu ve yayıcı kullanılmayan kontrol gurubunun elektrik verileri TEM'lerin 80mm adım uzunluğu için verilmiştir. Tablo 5.5 soğutma amaçlı olarak yayıcı ve kanat birlikte kullanan TEG deney gurubu ile, sadece soğutucu kanat kullanan TEG kontrol gurubu verilerinden oluşmaktadır. İlgili tablodan kazanın devrede olduğu 11:23 saatine kadar olan verilerde deney gurubu elektrik verilerinin kontrol gurubuna göre çok daha yüksek olduğu görülmektedir(Şekil 5.7, Tablo 5.5). Kazanın devre dışı olduğu süreçte de bu elektrik verileri daha yüksek olsa da, kazanın çalışma anındaki veri farkı çok daha yüksektir. Kazan devrede olsun veya olmasın yayıcı kullanılan guruptaki elektrik artış oranları daima yüksek olmuştur. Denklem 1'de voltaj ve akım çarpımının doğal bir sonucu olarak güç artış oranının akım ve voltaja nazaran çok daha yüksek olduğu da görülmektedir.

Elde edilen artış oranları daha önce kullanılan 62mm x 62mm ve 75mm x 75mm yayıcılara göre çok daha yüksektir. Nitekim ortalama voltaj, akım ve güç artış oranlarının sırasıyla %618, 120 ve 1749 oranlarındadır. Bu oranlar daha önce 62mm x 62mm ve 75mm x 75mm yayıcıları için elde edilen oranların çok üzerindedir. 80mmx80mm yayıcı etkisi Şekil 5.7'de daha net olarak görülmektedir.

Tablo 5.5 80x80 mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 80\text{mm}$

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu			Artış oranları(%)		
	$I_d(\text{mA})$	$V_d(\text{mV})$	$P_d(\text{mW})$	$I_k(\text{mA})$	$V_k(\text{mV})$	$P_k(\text{mW})$	$V_A(\%)$	$I_A(\%)$	$P_A(\%)$
Kazan devrede									
10:03	210	1910	401,1	110	438	48,18	336	91	733
10:08	113	4520	510,76	100	421	42,1	974	13	1113
10:10	170	1550	263,5	110	413	45,43	275	55	480
10:15	152	1360	206,72	106	405	42,93	236	43	382
10:17	170	1470	249,9	93	413	38,409	256	83	551
10:22	170	1470	249,9	40	116	4,64	1167	325	5286
10:25	141	1340	188,94	40	116	4,64	1055	253	3972
10:30	170	1490	253,3	35	140	4,9	964	386	5069
Kazan devre dışı									
11:23	65	558	36,27	40	102	4,08	447	63	789
11:27	60	554	33,24	31	70	2,17	691	94	1432
11:28	58	545	31,61	29	68	1,972	701	100	1503
11:30	48	434	20,832	34	80	2,72	443	41	666
11:32	47	463	21,761	32	79	2,528	486	47	761



Şekil 5.7. 80x80mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 80\text{mm}$, a)Güç ve sıcaklık, b)Artış oranları

5.1.6. 120x120 Mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi ($p = k = 120\text{mm}$)

Bu yayıcı türü alaşımlı alüminyum olmakla birlikte 1.5mm et kalınlıklıdır. Tablo 5.6’da 120x120mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcı sonuçları x ve y yönündeki adım uzunlukları 120mm alınarak denenmiştir. Deney gurubu akım, voltaj ve güç değerleri kontrol gurubuna göre önemli oranlarda artış göstermiştir. Bu artışların deney gurubundaki sıcaklık farkının bir sonucu olduğu da aynı tablodan açıkça görülmektedir. Nitekim deney gurubu sıcaklık farkı kontrol gurubunun en az üç katıdır. Deney gurubu sıcaklık farkı deney boyunca 8-25°C arasında değişimi, kontrol gurubu sıcaklık farkı ise 2-9°C arasında değişmiştir. Deney gurubu için %211 sıcaklık farkı artış oranı sağlanmıştır.

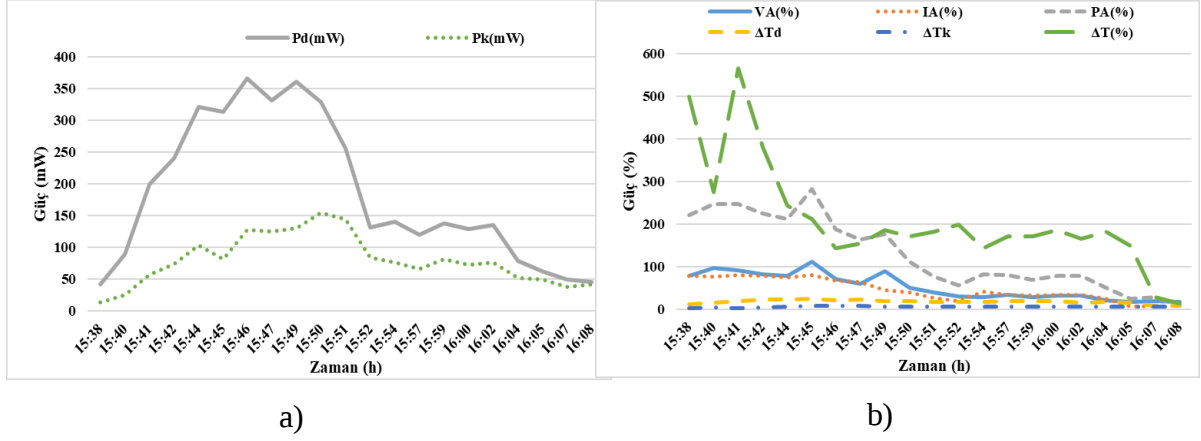
80x80mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı artış oranları %500 gibi iken(Tablo 5.3), Tablo 5.6’da artan yayıcı boyutuna rağmen artış oranlarının %200’lerde olması iki tablo arasındaki tek fark olan yayıcı kalınlığına bağlanabilir. Nitekim Tablo 5.3 sonuçları 2mm kalınlıklı yayıcı için, Tablo 5.6 ise 1.5mm kalınlık yayıcı için alınmıştır. Bu durumda yayıcı boyutunun yanı sıra yayıcı kalınlığının da soğutmada önemli rol aldığı söylenebilir.

Tablo 5.6’nın verileri Şekil 5.8a ‘da iki gurubun güç karşılaştırması, Şekil 5.8b’de ise elektrik artış oranları ve sıcaklıklar şeklinde sunulmuştur. Şekil 5.8a ve Şekil 5.8b’den özellikle güç artış oranının sıcaklık farkı artış oranı ile yakından ilgili olduğunu göstermektedir. Nitekim deney gurubunda sıcaklık farkındaki önemli yükselişlerin

olduğu bölgede, önemli güç yükselişleri de açıktır. Ayrıca tablodaki %200'lere varan güç artış oranları Şekil 5.8a 'da P_d değerinin P_k değerinin çok üzerinde olması ile anlaşılmaktadır. Soğutma etkisi ilk 10 dakika çok daha belirgin, bu süreçten sonra her ne kadar azalsa da yaklaşık 40 dakika boyunca soğutma sağlanmıştır. 120x120mm boyutunda 1.5mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 120\text{mm}$ için ortalama voltaj, akım ve güç artış oranları %53, 45, 129 şeklindedir.

Tablo 5.6. 120x120mm boyutunda 1.5mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 120\text{mm}$

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu			Artış Oranları(%)			Sıcaklık Değerleri						
	$I_d(\text{mA})$	$V_d(\text{mV})$	$P_d(\text{mW})$	$I_k(\text{mA})$	$V_k(\text{mV})$	$P_k(\text{mW})$	$V_A(\%)$	$I_A(\%)$	$P_A(\%)$	T_1	T_2	T_3	T_4	ΔT_d	ΔT_k	ΔT (%)
15:38	68	610	41,48	38	340	12,92	79	79	221	69	66	57	64	12	2	500
15:40	74	1200	88,8	42	610	25,62	97	76	247	75	66	60	62	15	4	275
15:41	155	1290	199,95	86	670	57,62	93	80	247	83	68	63	65	20	3	567
15:42	153	1570	240,21	86	860	73,96	83	78	225	90	71	66	66	24	5	380
15:44	190	1690	321,1	108	950	102,6	78	76	213	99	76	75	69	24	7	243
15:45	184	1700	312,8	102	800	81,6	113	80	283	102	81	77	73	25	8	213
15:46	200	1830	366	119	1070	127,33	71	68	187	104	83	82	74	22	9	144
15:47	189	1750	330,75	115	1090	125,35	61	64	164	107	85	84	76	23	9	156
15:49	185	1950	360,75	127	1027	130,429	90	46	177	106	87	86	80	20	7	186
15:50	181	1820	329,42	129	1200	154,8	52	40	113	106	88	87	81	19	7	171
15:51	146	1750	255,5	115	1250	143,75	40	27	78	106	89	89	83	17	6	183
15:52	110	1200	132	92	920	84,64	30	20	56	105	90	87	84	18	6	200
15:54	123	1140	140,22	87	880	76,56	30	41	83	105	91	88	84	17	7	143
15:57	112	1070	119,84	83	800	66,4	34	35	80	106	92	87	85	19	7	171
15:59	120	1150	138	91	890	80,99	29	32	70	106	92	87	85	19	7	171
16:00	113	1140	128,82	84	860	72,24	33	35	78	106	92	86	85	20	7	186
16:02	116	1170	135,72	86	880	75,68	33	35	79	104	92	88	86	16	6	167
16:04	92	860	79,12	74	710	52,54	21	24	51	101	90	84	84	17	6	183
16:05	73	850	62,05	69	720	49,68	18	6	25	100	89	85	83	15	6	150
16:07	69	720	49,68	64	600	38,4	20	8	29	92	86	83	79	9	7	29



Şekil 5.8. 120x120mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 120$, a)Güç, b) Artış oranları ve sıcaklık

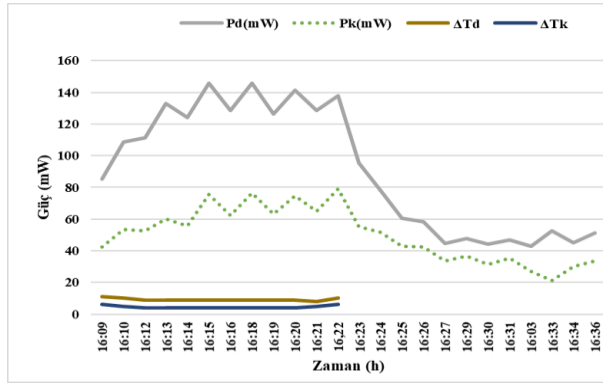
5.1.7. 120x120 Mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi ($p = 200$, $k = 140$ mm)

120x120mm boyutlu yayıcılar $p=k=120$ için Tablo 5.6'da 16:08'de voltaj, akım ve güç artış oranları %20, %8 ve %29 değerlerine düşmüştü. Ancak bu durumda p değeri 120'den 200'e, k değeri ise 120'den 140'a yükselince ilgili artış oranları sırasıyla %34, %50 ve %101 değerlerine yükseldi(Tablo 5.7). Alınan bu değerler Tablo 5.6'daki ölçümün devamı olduğundan uzun süre boyunca kazan ısısına maruz kalan yayıcıların sıcaklıkları da arttığı için sıcaklık farkları bir önceki tabloya göre daha düşüktür. Bu deneyde de yarım saat boyunca alınan verilere göre deney gurubu elektrik sonuçları kontrol gurubuna göre artışlarını korumuştur. Dolayısıyla 120x120mm yayıcı kullanılarak yapılan ölçüm Tablo 5.6 ve Tablo 5.7'de ki ölçümler ortalama iki saat sürmesine karşın deney guruplarında kontrol gurubuna göre çok daha yüksek elektrik verileri sağlamayı sürdürmüştür.

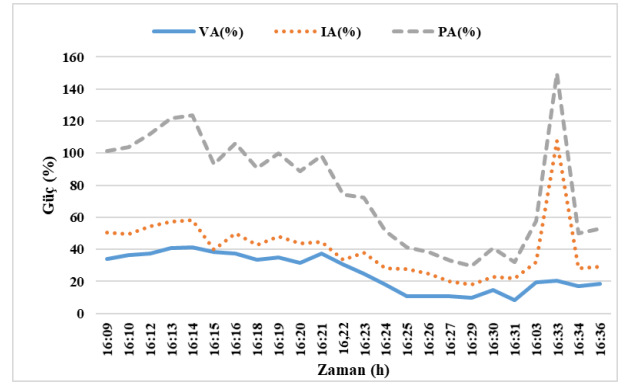
Tablo 5.7'nin sonuçları Şekil 5.9'da verilmiştir. Yarım saat boyunca alınan verilerden deney gurubuna ait olanların kontrol gurubunun çok üzerinde olduğu, bu durumun deney gurubundaki sıcaklık farkının daha yüksek olmasına bağlı olarak geliştiği anlaşılmaktadır(Şekil 5.9a ve Şekil 5.9b). Deney gurubuna ait sıcaklık farkının kontrol gurubunun yaklaşık 2 katı kadar olup deney gurubu için 8-12°C, kontrol gurubu için 4-6°C arasında değişmiştir. Tablo 5.7'de görülmektedir. Bu parametrelerde ortalama voltaj, akım ve güç artış oranları %26, %40, %78 olarak hesaplanmıştır.

Tablo 5.7. 120x120mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı, p = 200mm, k = 140mm için elektrik verileri

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu			Artış Oranları			Sıcaklıklar					
	I _a (mA)	V _a (mV)	P _a (mW)	I _k (mA)	V _k (mV)	P _k (mW)	V _A (%)	I _A (%)	P _A (%)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	ΔT _d	ΔT _k
16:09	93,7	910	85,267	62,3	680	42,364	34	50	101	91	85	80	78	11	6
16:10	112	970	108,64	75	710	53,25	37	49	104	91	86	81	78	10	5
16:12	108	1030	111,24	70	750	52,5	37	54	112	90	86	81	76	9	4
16:13	121	1100	133,1	77	780	60,06	41	57	122	90	86	81	76	9	4
16:14	117	1060	124,02	74	750	55,5	41	58	123	90	86	81	76	9	4
16:15	130	1120	145,6	93	810	75,33	38	40	93	90	86	81	76	9	4
16:16	117	1100	128,7	78	800	62,4	38	50	106	90	86	81	76	9	4
16:18	130	1120	145,6	91	840	76,44	33	43	90	90	86	81	76	9	4
16:19	117	1080	126,36	79	800	63,2	35	48	100	90	86	81	76	9	4
16:20	125	1130	141,25	87	860	74,82	31	44	89	90	86	81	76	9	4
16:21	120	1070	128,4	83	780	64,74	37	45	98	92	87	84	82	8	5
16:22	120	1150	138	90	880	79,2	31	33	74	93	87	83	79	10	6
16:23	106	900	95,4	77	720	55,44	25	38	72					0	0
16:24	86	910	78,26	67	770	51,59	18	28	52					0	0
16:25	83	730	60,59	65	660	42,9	11	28	41					0	0
16:26	80	730	58,4	64	660	42,24	11	25	38					0	0
16:27	72	620	44,64	60	560	33,6	11	20	33					0	0
16:29	72	660	47,52	61	600	36,6	10	18	30					0	0
16:30	70	630	44,1	57	550	31,35	15	23	41					0	0
16:31	73	640	46,72	60	590	35,4	8	22	32					0	0
16:03	70	610	42,7	53	510	27,03	20	32	58					0	0
16:33	81	650	52,65	39	540	21,06	20	108	150					0	0



a



b

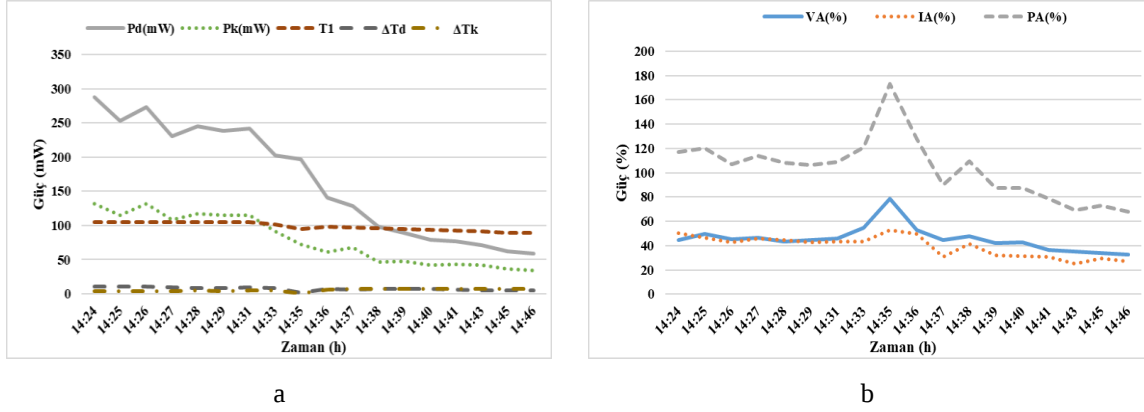
Şekil 5.9. 120x120mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı, p = 200mm, k = 140, a)Güç ve sıcaklık, b)Artış Oranları

5.1.8. 140x140mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi ($p = k = 140\text{mm}$)

Tablo 5.8’de 1.5mm et kalınlıklı 140mm alaşımlı alüminyum yayıcılar ile birlikte 140mm p ve k adım uzunluğu için alınan sonuçlar verilmiştir. Deney gurubundaki akım, voltaj ve güç değerlerindeki artış oranlarının pozitif olduğundan ilgili parametrelerin olumlu etkisi okunmaktadır. Bu artış oranının deney gurubundaki sıcaklık farkının kontrol gurubu sıcaklık farkından daha yüksek olmasının bir sonucu olduğu da Tablo 5.8’den anlaşılmaktadır. Ortalama 20 dakika boyunca alınan verilere göre minimum %68’e varan güç artış oranları tespit edilmiştir. Ayrıca 80x80mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı için elektrik artış oranları %900-1000’lerde iken, 140x140mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcı sonuçlarına göre elektrik artış oranları %100’lerdedir. Buradan yayıcı boyutlarından ziyade yayıcı kalınlığının sonuçları daha fazla etkilediği sonucuna varılmaktadır.

Tablo 5. 8. 140x140mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 140\text{mm}$

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu			Artış Oranları			Sıcaklıklar				
	$I_d(\text{mA})$	$V_d(\text{mV})$	$P_d(\text{mW})$	$I_k(\text{mA})$	$V_k(\text{mV})$	$P_k(\text{mW})$	$V_A(\%)$	$I_A(\%)$	$P_A(\%)$	T_1	T_3	T_4	ΔT_d	ΔT_k
14:24	170	1690	287,3	113	1170	132,21	44	50	117	105	94	101	11	4
14:25	160	1580	252,8	109	1054	114,886	50	47	120	105	94	101	11	4
14:26	171	1600	273,6	120	1100	132	45	43	107	105	94	101	11	4
14:27	153	1510	231,03	105	1030	108,15	47	46	114	105	95	101	10	4
14:28	155	1580	244,9	107	1100	117,7	44	45	108	105	96	100	9	5
14:29	153	1560	238,68	107	1080	115,56	44	43	107	105	96	101	9	4
Kazan devre dışı														
14:33	146	1390	202,94	102	900	91,8	54	43	121	102	94	97	8	5
14:35	145	1360	197,2	95	760	72,2	79	53	173	95	93	94	2	1
14:36	121	1160	140,36	81	760	61,56	53	49	128	98	91	92	7	6
14:37	114	1130	128,82	87	780	67,86	45	31	90	97	91	90	6	7
14:38	102	960	97,92	72	650	46,8	48	42	109	96	89	89	7	7
14:39	91	980	89,18	69	690	47,61	42	32	87	95	88	88	7	7
14:40	88	900	79,2	67	630	42,21	43	31	88	94	87	87	7	7
14:41	85	900	76,5	65	660	42,9	36	31	78	93	87	86	6	7
14:43	85	840	71,4	68	620	42,16	35	25	69	91	84	84	7	7
14:45	79,5	790	62,805	61,5	590	36,285	34	29	73	89	82	82	7	7
14:46	76	770	58,52	60	580	34,8	33	27	68	89	82	82	7	7



Şekil 5.10. 140x140mm boyutlu, 1.5mmkalınlıklı yayıcı, $p = k = 140\text{mm}$, a) Güç ve sıcaklık, b) Artış oranları

5.1.9. 140x140mm Boyutlu Yayıcı ve Farklı Dizilim Etkisi ($p = 210$, $k = 140\text{mm}$)

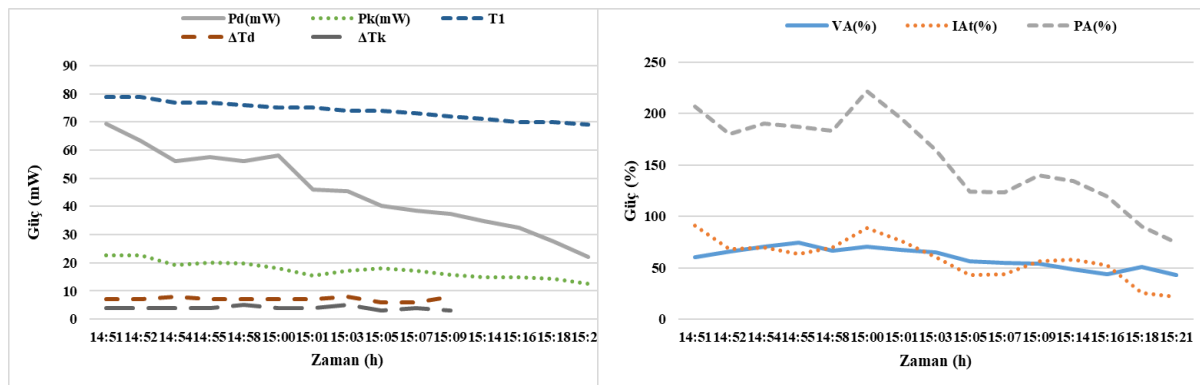
TEM'lerin birbirine olan uzaklıklarının etkisini görmek amaçlı olarak P değeri 140mm'den 210mm'e çıkarılarak yeni veriler Tablo 5.9 ve Şekil 5.11'de verilmiştir. Kazan devrede iken alınan bu verilere göre deney gurubundaki sonuçları kontrol gurubuna göre önemli artış oranları mevcuttur. Nitekim aynı yayıcıların $p=k=140\text{mm}$ için Tablo 5.8 verilerine göre 14:46 saatinde kazanın devre dışı verilerinde voltaj, akım ve güç artışları %33, %27, %68 ile sonlanmış, p değeri 140'tan 210'a arttırılması ile bu değerlerin 14:51'de %60, %91, %207 olarak yükseldiği görülmektedir.

Tablo 5.6 ve Şekil 5.8'de verilen değerlerde aynı yayıcının 140mm olan p değerinde artış oranları ortalama %100'lerde iken 210mm olan p değerinde artış oranları %200'lere kadar yükselmiştir. Dolayısıyla aynı kalınlıklı yayıcılarda TEM mesafelerinin arttırılması durumunda elektrik verilerinde de önemli artışların olduğu anlaşılmaktadır. TEM mesafelerinin arttırılması ile TEM'ler arası hava sirkülasyonlarının iyileşmesi dolayısıyla soğumanın iyileşmesi sağlanmaktadır.

Tablo 5.9. 140x140mm boyutlu, 1.5mm kalınlıklı, p = 210mm, k = 140mm

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu			Artış Oranları			Sıcaklıklar (°C)					
	I _d (mA)	V _d (mV)	P _d (mW)	I _k (mA)	V _k (mV)	P _k (mW)	V _A (%)	I _A (%)	P _A (%)	T ₁	T ₂	T ₃	T ₄	ΔT _d	ΔT _k
Kazan devre dışı															
14:51	90	770	69,3	47	480	22,56	60	91	207						
14:52	81	780	63,18	48	470	22,56	66	69	180						
14:54	80	700	56	47	410	19,27	71	70	191						
14:55	82	700	57,4	50	400	20	75	64	187						
14:58	80	700	56	47	420	19,74	67	70	184	76	80	69	76	7	4
15:00	83	700	58,1	44	410	18,04	71	89	222	75	78	68	74	7	4
15:01	74	620	45,88	42	370	15,54	68	76	195	75	78	67	74	8	4
15:03	69	660	45,54	43	400	17,2	65	60	165	74	77	67	73	7	4
15:05	66	610	40,26	46	390	17,94	56	43	124	74	76	67	71	7	5
15:07	62	620	38,44	43	400	17,2	55	44	123	73	75	66	71	7	4
15:09	62,5	600	37,5	40	390	15,6	54	56	140	72	74	65	70	7	4
15:14	60	580	34,8	38	390	14,82	49	58	135	71	73	63	68	8	5
15:16	58	560	32,48	38	390	14,82	44	53	119	70	72	64	69	6	3
15:18	49	560	27,44	39	370	14,43	51	26	90	70	72	64	68	6	4
15:21	44	500	22	36	350	12,6	43	22	75	69	71	61	68	8	3

Tablo 5.9'daki verilerin aktarıldığı Şekil 5.11'de görüldüğü gibi deney ve kontrol gurubu güç değeri kazanın sıcaklık profili ile uyumlu olduğu, deney gurubu güç değerinin tüm ölçüm boyunca kontrol gurubunun üzerinde olduğu anlaşılmaktadır. Yarım saat boyunca yapılan ölçümde ortalama %156, minimum %75 oranında güç artışı tesit edilmiştir. Ortalama voltaj, akım ve güç artış oranları ise %59, %59, %155 oranındadır.



Şekil 5.11. 140x140mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcılar, p = 210mm k= 140mm, a)Güç, b) Artış Oranları

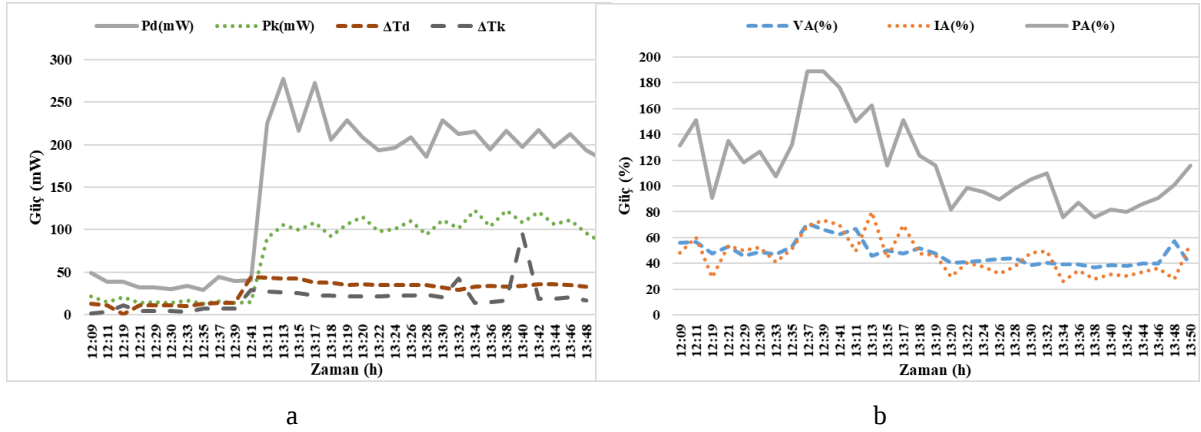
5.1.10. 250x600mm Boyutlu Ortak Yayıcı Etkisi

Kullanılan 6 adet TEM'lerin üzerine 250x600mm ölçüsünde tek adet 1mm kalınlıklı alaşımlı alüminyum plaka şeklinde yayıcı kullanılarak alınan veriler Tablo 5.10 ve Şekil 5.12'de verilmiştir. Yaklaşık %150-%200 arasındaki güç artış oranlarının sağlandığı bu yayıcıda ilk 20 dakika boyunca ortalama %200 'lerde sıcaklık farkı artışları, sonraki 40 dakikada ise ortalama %50 sıcaklık farkı artışı ve %90 güç artışı devam etmiştir.

Tablo 5.10. Ortak Yayıcı kullanmanın etkisi (1mm kalınlıklı tek alüminyum plaka üzerinde kanatlar, 250x600mm ölçüsünde)

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu			Artış Oranları(%)			Sıcaklıklar(°C)					
	I _d (mA)	V _d (mV)	P _d (mW)	I _k (mA)	V _k (mV)	P _k (mW)	V _A (%)	I _A (%)	P _A (%)	T ₁	T ₃	T ₄	ΔT _d	ΔT _k	ΔT (%)
12:09	77	636	48,972	52	407	21,164	56	48	131						
12:11	64	596	38,144	40	380	15,2	57	60	151	69	56	68	13	1	1200
12:19	67	581	38,927	52	393	20,436	48	29	90	68	57	65	11	3	267
12:21	60	535	32,1	39	350	13,65	53	54	135	68	68	57	0	11	100
12:29	57	561	31,977	38	385	14,63	46	50	119	67	56	63	11	4	175
12:30	58	520	30,16	38	350	13,3	49	53	127	67	56	63	11	4	175
12:33	62	542	33,604	44	368	16,192	47	41	108	67	56	63	11	4	175
12:35	56	512	28,672	37	334	12,358	53	51	132	66	56	63	10	3	233
12:37	71	620	44,02	42	363	15,246	71	69	189	69	56	62	13	7	86
12:39	66	595	39,27	38	358	13,604	66	74	189	69	55	62	14	7	100
12:41	68	596	40,528	40	367	14,68	62	70	176	69	55	62	14	7	100
13:11	148	1520	224,96	99	910	90,09	67	49	150	116	72	87	44	29	52
13:13	180	1542	277,56	100	1056	105,6	46	80	163	114	71	87	43	27	59
13:15	144	1500	216	100	1001	100,1	50	44	116	113	71	87	42	26	62
13:17	182	1500	273	107	1015	108,605	48	70	151	112	70	87	42	25	68
13:18	143	1440	205,92	97	950	92,15	52	47	123	109	71	87	38	22	73
13:19	155	1478	229,09	106	1001	106,106	48	46	116	109	71	87	38	22	73
13:20	145	1440	208,8	112	1027	115,024	40	29	82	108	73	87	35	21	67
13:24	136	1443	196,248	99	1015	100,485	42	37	95	107	72	86	35	21	67
13:26	148	1410	208,68	112	982	109,984	44	32	90	108	73	86	35	22	59
13:28	136	1368	186,048	99	950	94,05	44	37	98	108	73	86	35	22	59
13:30	160	1431	228,96	108	1033	111,564	39	48	105	108	73	85	35	23	52
13:32	148	1438	212,824	99	1025	101,475	40	49	110	105	73	85	32	20	60
13:36	137	1420	194,54	102	1020	104,04	39	34	87	99	66	85	33	14	136
13:38	150	1440	216	117	1050	122,85	37	28	76	100	66	85	34	15	127
13:40	138	1428	197,064	105	1031	108,255	39	31	82	102	69	85	33	17	94
13:42	151	1436	216,836	116	1038	120,408	38	30	80	103	69	8	34	95	64
13:44	140	1412	197,68	105	1011	106,155	40	33	86	105	69	86	36	19	89

Sıcaklık farkının artması ile güç miktarında önemli artışlar olduğu Şekil 5.12a görülmektedir. Hem deney hem de kontrol gurubundaki sıcaklık farkının artışı ile her iki grupta da güç artışı sıcaklık artışına paralel olup belirgindir. İlgili şekilden ve Tablo 5.10'dan anlaşıldığı üzere kazan duruyorken de, çalışırken de yayıcıların soğutma etkisi belirgin olmuştur. Ancak kazan çalışma esnasında deney ve kontrol gurubundaki veri farkı artmıştır.



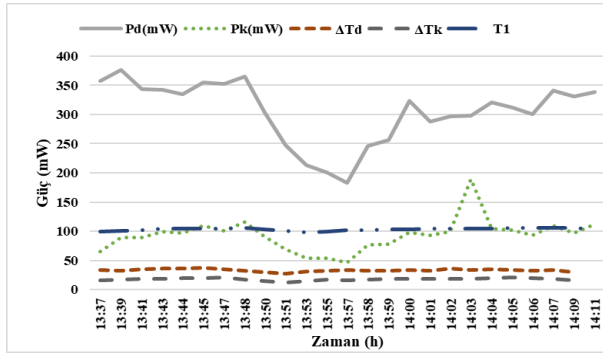
Şekil 5.12. Alüminyum plaka ortak yayıcı(1 adet 25x60cmboyutunda 1mm kalınlığında) ölçüsü

5.1.11. 250x600mm Boyutlu Ortak Yayıcı Etkisi (2 Adet Yayıcı)

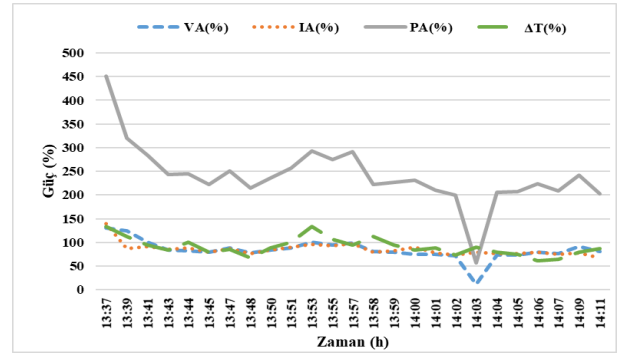
Aynı yayıcıdan iki adet kullanılarak yayıcı kalınlığı bir öncekine göre iki katına çıkarılmıştır. Tablo 5.11 ve Şekil 5.13'te elde edilen verilere göre yayıcı kalınlığının ikiye katlanması ile birlikte yaklaşık 40 dakika süresince alınan verilerde güç artış oranları 2-3 katına çıkmıştır. Nitekim aynı boyutlu tek yayıcının kullanıldığı bir önceki tablo olan Tablo 5.10'da saat 13:44'te voltaj, akım ve güç artış oranları %40, %33, %86 iken, bu plakaların ikiye çıkarılması ile ilgili değerler saat 13:45'te %80, %79, %223 oranlarına yükselmiştir(Tablo 5.11).

Tablo 5.11. Ortak Yayıcı kullanmanın etkisi (2 adet 1mm kalınlıklı 25x60cm ölçüsünde alüminyum plaka)

Zaman	Deney gurubu			Kontrol gurubu			Artış oranları(%)			Sıcaklıklar (°C)					
	I_d (mA)	V_d (mV)	P_d (mW)	I_k (mA)	V_k (mV)	P_k (mW)	V_A (%)	I_A (%)	P_A (%)	T_1	T_3	T_4	ΔT_d	ΔT_k	ΔT (%)
Kazan devrede															
13:45	192	1852	355,58	107	1029	110,10	80	79	223	105	69	85	36	20	80
13:47	187	1888	353,06	100	1006	100,6	88	87	251	105	68	85	37	20	85
13:48	192	1900	364,8	109	1064	115,97	79	76	215	106	71	85	35	21	67
13:50	185	1639	303,22	101	894	90,294	83	83	236	103	71	86	32	17	88
Devre dışı															
13:51	156	1589	247,88	82	846	69,372	88	90	257	101	71	86	30	15	100
13:53	149	1430	213,07	76	714	54,264	100	96	293	98	70	86	28	12	133
13:55	137	1466	200,84	71	753	53,463	95	93	276	100	69	85	31	15	107
13:57	136	1350	183,6	69	680	46,92	99	97	291	102	69	85	33	17	94
Kazan Devrede															
13:58	159	1548	246,13	89	858	76,362	80	79	222	102	68	86	34	16	113
13:59	160	1600	256	88	890	78,32	80	82	227	103	70	86	33	17	94
14:00	195	1660	323,7	103	950	97,85	75	89	231	103	70	85	33	18	83
14:01	167	1727	288,41	94	990	93,06	74	78	210	104	70	86	34	18	89
14:02	172	1728	297,22	99	1001	99,099	73	74	200	104	71	85	33	19	74
14:03	172	1730	297,56	96	1970	189,12	12	79	57	105	69	86	36	19	89
14:04	180	1782	320,76	102	1026	104,65	74	76	207	105	71	86	34	19	79
14:05	175	1782	311,85	99	1026	101,57	74	77	207	106	71	86	35	20	75
14:06	176	1710	300,96	98	950	93,1	80	80	223	106	72	85	34	21	62
14:07	186	1831	340,57	106	1040	110,24	76	75	209	106	73	86	33	20	65
14:09	182	1820	331,24	102	950	96,9	92	78	242	106	72	87	34	19	79
14:11	190	1780	338,2	114	980	111,72	82	67	203	103	73	87	30	16	88



a



b

Şekil 5.13. Ortak Yayıcı kullanmanın etkisi, a)Güç-Sıcaklık, b)Artış Oranları

5.1.12. Yayıcı Boyut ve Farklı Düzenlerinin Sonuçlara Etkisinin Özeti

Tablo 5.12 ‘de buraya kadar ele alınan yayıcı boyutları, kalınlıkları ve adım uzunlukları için alınan verilerdeki voltaj, akım güç artış oranları; maksimum, minimum ve ortalama güç artış oranları sunulmuştur. Yayıcı boyutu etkisini anlamak için 2mm kalınlıklarında seçilen 62, 75 ve 80mm yayıcılardan en yüksek voltaj, akım ve güç artış oranlarının artan yayıcı boyutu ile orantılı olarak arttığı anlaşılmaktadır. Nitekim 62mm ayrıtlı yayıcı voltaj, akım ve güç artış oranları %23, %15, %45; 75mm ayrıtlı olana ait olan ilgili değerler %61, %63, %175; 80mm ayrıtlı yayıcı değerleri ise %618, %120, %1719 şeklindedir. Görüldüğü gibi yayıcı boyutu arttıkça elektrik verilerindeki artış oranları da belirgin olmuştur. P ve k değerlerinin artışları ile de elektrik verileri önemli artışlar sağlamıştır.

Yayıcı kalınlıklarının uygun seçilmesinin de sonuçları etkileyen önemli parametre olduğu anlaşılmıştır. Nitekim 2mm kalınlığındaki 80mm boyutlu yayıcıya ait elektrik artış oranları %618, 5120, %1719 iken, 1.5mm kalınlığındaki daha büyük boyutlu olan 120mm boyutlu yayıcı ilgili elektrik değerleri değerleri %53, %45, %129 ve 140mm yayıcı elektrik artış oranları ise %45, %39, %103 olup 80mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcıya göre daha düşüktür. 80mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcının maksimum, minimum ve ortalama güç artış oranlarının da yine kullanılan tüm yayıcıların üzerinde olduğu görülmektedir.

Tablo 5.12. Kullanılan parametreler için güç artış oranlarının karşılaştırılması

Yayıcı boyutu (h x h)	t(mm)	p(mm)	k(mm)	V _A (%)	I _A (%)	P _A (%)	Maks. güç (%)	Min. Güç (%)	Ortalama güç (%)
62x62	2	62	62	23	15	45	460	8	45
75 x75	2	75	75	61	63	175	595	75	175
75 x75	2	130	130	48	32	109	576	20	109
75 x75	2	160	160	8	6,4	14	26	6	14
80 x80	2	80	80	618	120	1719	5286	382	1749
120 x120	1,5	120	120	53	45	129	247	9	129
120 x120	1,5	200	140	26	40	78	150	33	78
140 x140	1,5	140	140	45	39	103	173	68	104
140 x140	1,5	210	140	60	60	155	207	75	156

5.2.Farklı TEM Modül Etkisi

Farklı modüllerin farklı malzemeden yapılması ve farklı n p dizilimlerine sahip olmalarından dolayı farklı elektrik verisi sağlayacağı bilinmektedir. Bu başlıkta piyasada peltiyer olarak bilinen ve öncelikle soğutmada kullanılan TEC-12706 modülü tezin ana araştırma modülü olan TGM-199-2.0-1.2 modülü ile karşılaştırılmıştır. Daha önce Tablo 4.2’de özellikleri verilen bu iki modülün karşılaştırmalı elektrik verileri Tablo 5.13’te ve Şekil 5.13’te sunulmuştur. Her iki modülde 80x80 mm kare şekilli ve 20mm derinlikli alüminyum kanat kullanılmıştır. X ve Y yönündeki adım uzunluğu ($p = k = 80\text{mm}$).

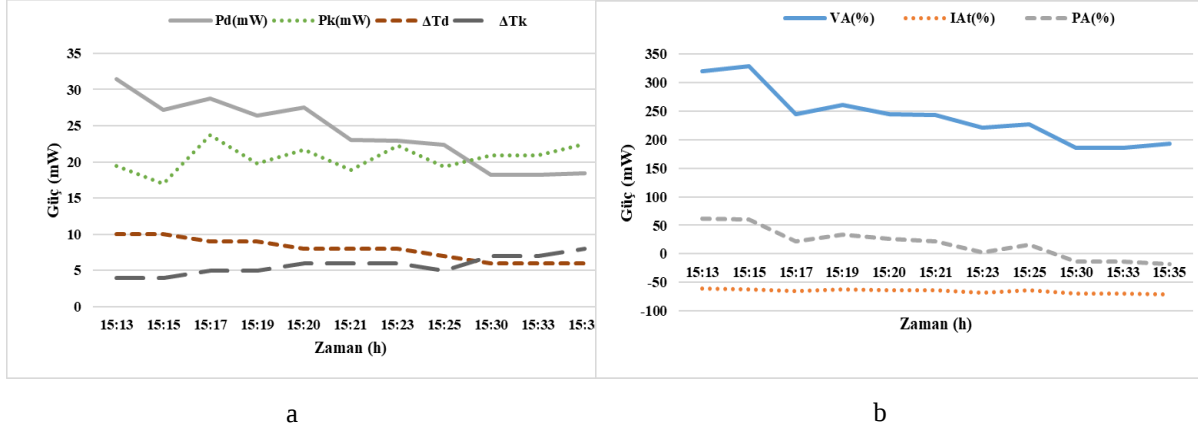
Kazan düşük devirlerde çalışırken, yani kazan yüzey sıcaklığı nispeten düşük (maksimum 76°C) TEC-12706 modüllerinden alınan verilerde TGM-199-2.1-1.2 modüllere göre daha yüksek veriler elde edilmiştir. Düşen sıcaklık farkı ile birlikte her iki modülde de elektrik verileri düşümü olmuştur. Ancak sıcaklık farkının azalmasına bağlı olarak elektrik verilerindeki düşüş TEC-12706 modülde daha hızlı olduğu görülmektedir.

Tablo 5.13. TGM-199-2.0-1.2 ve TEC-12706 modüllerinin karşılaştırılması ($p = k = 80\text{mm}$)

Zaman	Deney gurubu, TEC-12706			Kontrol gurubu, TGM-199-2.1-1.2			Artış Oranı			Sıcaklıklar				
	$I_d(\text{mA})$	$V_d(\text{mV})$	$P_d(\text{mW})$	$I_k(\text{mA})$	$V_k(\text{mV})$	$P_k(\text{mW})$	$V_A(\%)$	$I_{Ar}(\%)$	$P_A(\%)$	T_1	T_3	T_4	ΔT_d	ΔT_k
15:13	17	1850	31,45	44	441	19,404	320	-61	62	76	66	72	10	4
15:15	16	1700	27,2	43	396	17,028	329	-63	60	76	66	72	10	4
15:17	18	1600	28,8	51	465	23,715	244	-65	21	76	67	71	9	5
15:19	17	1555	26,435	46	430	19,78	262	-63	34	77	68	72	9	5
15:20	18	1530	27,54	49	443	21,707	245	-63	27	77	69	71	8	6
15:21	16	1440	23,04	45	420	18,9	243	-64	22	77	69	71	8	6
15:23	16	1430	22,88	50	446	22,3	221	-68	3	77	69	71	8	6
15:25	16	1400	22,4	45	429	19,305	226	-64	16	77	70	72	7	5
15:30	14	1300	18,2	46	455	20,93	186	-70	-13	77	71	70	6	7
15:33	14	1300	18,2	46	455	20,93	186	-70	-13	77	71	70	6	7
15:35	14	1320	18,48	50	450	22,5	193	-72	-18	77	71	69	6	8

Öyle ki bir yere kadar TEC-12706 modül gücü TGM-199-2.1-1.2 modülün üzerinde iken, 15:25 saatinden itibaren durum tersine dönmüştür. Buradan TEC-12706 modüllerinin sıcaklık farklarının değişimine karşı daha hassas olduğu veya daha hızlı tepki verdiği sonucu çıkarılabilir. Ayrıca kazanın tam devir devrede olması durumunda yani

sıcaklıkların 100°C nin üzerinde iken modüllerin yüksek sıcaklıklara dayanıksızlığından, veya yetersiz soğutma işleminden dolayı TEC-12706 modülünden veri alımı kesintiye uğramıştır. Öte yandan TGM-199-2.1-1.2 modüllerinin yüksek sıcaklığa dayanımlarının avantajının sonucu olarak bu modüller sık ve uzun süreli olarak 100°C'nin de üzerinde olan kazan yüzeyinde aktif olarak çalışmıştır.



Şekil 5.14. Farklı modül etkisi, a)Güç-Sıcaklık, b)Artış Oranları

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

6.1. Sonuçlar

Kullanılan tüm yayıcılarda kazanın devre dışı olduğu zaman aralığında modül sıcak ve soğuk yüzey arasında ki sıcaklık farkı azalmasından dolayı voltaj, akım ve güç artış oranlarında azalma görülmüş, kazanın devreye girdiği anda deney ve kontrol gurubu güçlerinin arttığı, deney gurubundaki gücün kontrol gurubunun çok üzerinde olduğu görülmüştür. 62x62mm boyutlu yayıcıların kullanılması ile voltaj, akım ve güç ortalama artış oranları %23, %15, %45 olarak hesaplanmıştır.

75x75mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 75\text{mm}$ için elde edile verilere göre deney gurubuna ait voltaj, akım ve güç artış oranlarının kontrol gurubuna göre %61, 63 ve 175 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. 75x75mm boyutlu, 2mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 130\text{mm}$ verilere göre deney gurubuna ait voltaj, akım ve güç artış oranlarının %48, 32 ve %109 oranında daha yüksek olduğu tespit edilmiştir. Kazan devre dışı iken p ve k değeri 130'dan 160mm'e çıkarılınca voltaj, akım ve güç artış oranları %8, %6.4, %14'tür. 80x80mm yayıcı $p = k = 80\text{mm}$ kullanılması durumunda voltaj, akım ve güç artış oranlarının sırasıyla %618, 120 ve 1749 oranlarındadır.

120x120mm boyutunda 1.5mm kalınlıklı yayıcı, $p = k = 120\text{mm}$ için voltaj, akım ve güç artış oranları %53, %45 ve %129'dur. 120x120mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı, $p = 200\text{mm}$, $k = 140$ için elektrik verileri, akım ve güç artış oranlarının sırasıyla %27, %40 ve %81'dir. 2mm et kalınlıklı 80x80mm yayıcının kullanıldığı deney gurubu artış oranları 1.5mm kalınlıklı 120x120mm ve 140x140mm boyutlu yayıcılara göre çok daha yüksek artış oranları sağlamıştır. 80x80mm boyutlu 2mm kalınlıklı yayıcı elektrik artış oranları %900-1000'lerde iken, 140x140mm boyutlu 1.5mm kalınlıklı yayıcı sonuçlarına göre elektrik artış oranları %100'lerdedir. Dolayısıyla 1.5 ve 2mm yayıcı kalınlıklarının denendiği çalışmamızda 2mm kalınlığındaki yayıcılar daha iyi sonuçlar sağlamıştır. Bununla birlikte denenen daha yüksek kalınlıklar için özellikle kazanın durma

periyotlarında kalın yayıcıların dezavantajlı olduğu sonucuna da varılmıştır. Yayıcı boyutlarından ziyade yayıcı kalınlığının sonuçları daha fazla etkilediği anlaşılmıştır.

Aynı kalınlıklı yayıcılarda TEM mesafelerinin arttırılması durumunda elektrik verilerinde de önemli artışların olduğu anlaşılmaktadır. Örneğin 140mm olan P değerinde artış oranları ortalama %100’lerde iken 210mm olan p değeri için elektrik artış oranları %200’lere kadar yükselmiştir. TEM mesafelerinin arttırılması ile TEM’ler arası hava sirkülasyonlarının iyileşmesi dolayısıyla soğumanın iyileşmesi sağlanmaktadır.

25x60cm ölçüsünde tek adet 1mm kalınlıklı alaşımlı alüminyum plaka şeklinde yayıcı kullanılarak alınan verilere göre yaklaşık %150-%200 arasındaki güç artış oranlarının sağlandığı bu yayıcıda ilk 20 dakika boyunca ortalama %200 ‘lerde sıcaklık farkı artışları, sonraki 40 dakikada ise ortalama %50 sıcaklık farkı artışı ve %90 güç artışı devam etmiştir. Aynı yayıcıdan iki adet kullanılarak yayıcı kalınlığı bir öncekine göre iki katına çıkarılmıştır. Aynı yayıcı kalınlığının ikiye katlanması ile birlikte yaklaşık 40 dakika süresince alınan verilerde güç artış oranlarının 2-3 katına çıktığı görülmüştür.

Farklı modüllerin karşılaştırılması amaçlı olarak TEC-12706 modülü tezin ana araştırma modülü olan TGM-199-2.0-1.2 modülü ile karşılaştırılmıştır. Her iki modülde 80x80 mm kare şekilli ve 20mm derinlikli alüminyum kanatlar $p = k = 80\text{mm}$ olan deneyler için kazan düşük devirlerde çalışırken, yani kazan yüzey sıcaklığı nispeten düşük (maksimum 76°C) TEC-12706 modüllerinden alınan veriler TGM-199-2.1-1.2 modüllere göre daha yüksektir. Düşen sıcaklık farkı ile birlikte her iki modülde de elektrik verileri düşümü olmuştur. Ancak sıcaklık farkının azalmasına bağlı olarak elektrik verilerindeki düşüş TEC-12706 modülde daha hızlı olmuştur. Ayrıca kazanın tam devir çalışması durumunda yani sıcaklıkların 100°C’nin üzerinde iken yüksek sıcaklıklara dayanıksızlığından, veya yetersiz soğutma işleminden dolayı TEC-12706 modülünden veri alımı kesintiye uğramıştır. Öte yandan TGM-199-2.1-1.2 modüllerinin yüksek sıcaklığa dayanımlarının avantajının sonucu olarak bu modüller sık ve uzun süreli olarak 100°C’nin de üzerinde olan kazan yüzeyinde aktif olarak çalışmaya devam etmiştir.

6.2. Öneriler

Literatür araştırmaları kapsamında TEM modüllerinin soğuk tarafında ısı emilimini arttırmak amaçlı yutucu, sıcak tarafında ise ısı yayılmasını arttırmak amaçlı olarak yayıcı kullanılabileceği ancak ısı yayıcılarının kullanılması ile modüllerdeki ısı transferinin daha çok hızlandırılabilirdiği anlaşılmıştır. Bu bakımdan ilgili alanda yapılacak çalışmalarda ısı yutucularından ziyade ısı yayıcılarına odaklanması daha isabetli olacağı düşünülmektedir.

Jang ve Tsai (2013) çalışmasında TEG'lerden modüllerin optimum uzaklıkları ve yayıcının optimum uzunluk ve kalınlığı sayısal olarak araştırıldığı çalışmada güç üretiminin %50 oranında artış gösterdiğinden, ayrıca modül arasındaki mesafenin (P) $40 < P < 300$ mm; yayıcı kalınlığının (t) ise $1 < t < 30$ mm arasında seçilmesinin uygun olacağından bahsetmektedir. Ancak kendi yaptığımız çalışmadan sağladığımız deneyimlerden sık sık açılıp kapanan ısı sistemlerinde gereğinden fazla kalın olan yayıcıların ısı sistemin kapalı olduğu anlarda elektrik üretim sürecini olumsuz etkilediği, TEM modüllerinin soğuk tarafında yüksek sıcaklığa sebep olduğundan dolayı ΔT 'nin düşük olmasına neden olduğu anlaşılmıştır. Bu bakımdan özellikle yayıcı kalınlıklarının farklı uygulama alanlarında denenmesinin gerekli olacağı düşünülmektedir. İleriye dönük çalışmalarda yayıcı kalınlıklarının optimizasyon çalışmaları üzerinde daha fazla araştırmalara ihtiyaç vardır.

KAYNAKLAR

Akçay, H., Gürbüz, H., Demirtürk, S. ve Topalcı, Ü. (2020). Tipik bir buji ateşlemeli motorda egzoz atık ısı enerjisinin geri kazanımı için geliştirilen termoelektrik jeneratörün had analizi. *El-Cezeri*, 7(3), 1088-1100.

Astrain, D., Vián, J. G., Martínez, A. and Rodríguez, A. (2010). Study of the influence of heat exchangers' thermal resistances on a thermoelectric generation system. *Energy*, 35(2), 602-610.

Aranguren, P., Araiz, M., Astrain, D. and Martínez, A. (2017). Thermoelectric generators for waste heat harvesting: A computational and experimental approach. *Energy Conversion and Management*, 148, 680-691.

Dalar, U. (2019). Otomobil egzoz sistemlerinde Termoelektrik Jeneratörlü (TEJ) atık ısı geri kazanım sisteminin irdelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Kütahya Dumlupınar Üniversitesi.

Demir, M. E. and Dincer, I. (2017). Performance assessment of a thermoelectric generator applied to exhaust waste heat recovery. *Applied Thermal Engineering*, 120, 694-707.

Dikmen, E. (2002). Fixing of factors what affects thermoelectric coolers' working criteria and fields of use in industry, Doctoral dissertation, Süleyman Demirel University.

Ge, M., Li, Z., Zhao, Y., Xuan, Z., Li, Y. and Zhao, Y. (2022a). Experimental study of thermoelectric generator with different numbers of modules for waste heat recovery. *Applied Energy*, 322, 119523.

Ge, M., Zhao, Y., Li, Y., He, W., Xie, L. and Zhao, Y. (2022b). Structural optimization of thermoelectric modules in a concentration photovoltaic-thermoelectric hybrid system. *Energy*, 244, 123202.

Jang, J. Y. and Tsai, Y. C. (2013). Optimization of thermoelectric generator module spacing and spreader thickness used in a waste heat recovery system. *Applied thermal engineering*, 51(1-2), 677-689.

Kaya, A. Y. (2010). Egzoz gazındaki ısı ile çalıştırılan termoelektrik sistemin deneysel incelenmesi, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi.

Kavaz, İ. ve Köroğlu, H. K. (2023). Enerjide dışa bağımlılık ve ekonomik büyümenin enerji verimliliği üzerindeki etkileri: Türkiye örneği. *Verimlilik Dergisi*, 57(2), 253-272.

Kaya, A. Y. (2010). Egzoz gazındaki ısı ile çalıştırılan termoelektrik sistemin deneysel incelenmesi (Doctoral dissertation, SDÜ Fen Bilimleri Enstitüsü).

Khan, M. Q., Malarmanan, S. and Manikandaraja, G. (2018, August). Power generation from waste heat of vehicle exhaust using thermo electric generator: A review. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering (Vol. 402, No. 1, p. 012174). IOP Publishing.

Khalil, H. and Hassan, H. (2019a). 3D study of the impact of aspect ratio and tilt angle on the thermoelectric generator power for waste heat recovery from a chimney. *Journal of Power Sources*, 418, 98-111.

Khalil, H. and Hassan, H. (2019b). Enhancement thermoelectric generators output power from heat recovery of chimneys by using flaps. *Journal of Power Sources*, 443, 227266.

Khalil, H. and Hassan, H. (2020). Enhancement of waste heat recovery from vertical chimney via thermoelectric generators by heat spreader. *Process Safety and Environmental Protection*, 140, 314-329.

Kim, T. Y. Negash, A. and Cho, G. (2017). Experimental and numerical study of waste heat recovery characteristics of direct contact thermoelectric generator. *Energy Conversion and Management*, 140, 273-280.

Kunt, M. A. (2016). İçten Yanmalı Motor Atık Isılarının Geri Kazanımında Termoelektrik Jeneratörlerin Kullanımı. *El-Cezeri*, 3(2).

Liang, X., Sun, X., Tian, H., Shu, G., Wang, Y. and Wang, X. (2014). Comparison and parameter optimization of a two-stage thermoelectric generator using high temperature exhaust of internal combustion engine. *Applied energy*, 130, 190-199.

Luo, D., Liu, Z., Yan, Y., Li, Y., Wang, R., Zhang, L. and Yang, X. (2022). Recent advances in modeling and simulation of thermoelectric power generation. *Energy Conversion and Management*, 273, 116389.

Liu, X., Deng, Y. D., Li, Z. and Su, C. Q. (2015). Performance analysis of a waste heat recovery thermoelectric generation system for automotive application. *Energy conversion and management*, 90, 121-127.

Mamur, H., Dilmaç, Ö. F., Begum, J. and Bhuiyan, M. R. A. (2021). Thermoelectric generators act as renewable energy sources. *Cleaner Materials*, 2, 100030.

Meriçelli, S. Z. (2016). Termal eklem ısı farklılığı esaslı iyonizasyon ile elektrik enerjisi üretimi, Yüksek Lisans Tezi, Bilecik Şeyh Edebali Üniversitesi.

Ochieng, A. O., Megahed, T. F., Ookawara, S. and Hassan, H. (2022). Comprehensive review in waste heat recovery in different thermal energy-consuming processes using thermoelectric generators for electrical power generation. *Process Safety and Environmental Protection*, 162, 134-154.

Özgün, H. (2009). Termoelektrik Jeneratörlerin Çok Düşük Sıcaklıklarda Teorik ve Deneysel Karakterizasyonu. İstanbul Teknik Üniversitesi.

Patyk, A. (2013). Thermoelectric generators for efficiency improvement of power generation by motor generators—environmental and economic perspectives. *Applied energy*, 102, 1448-1457.

Temizer, İ., (2012). Effects on vehicle systems of technology thermoelectric, Batman University International Participated Science And Culture Symposium, Batman University, Journal of Life Sciences.

Temizer, İ., İlkılıç, C. ve Cengiz, Ö. (2016). Dizel motor egzoz sistemi için termoelektrik jeneratör uygulaması ve akış analizi. *Afyon Kocatepe Üniversitesi Fen ve Mühendislik Bilimleri Dergisi*, 16(2), 431-445.

Topalcı, Ü., Gürbüz, H., Akçay, H. ve Demirtürk, S. (2020). Buji Ateşlemeli Bir Motorda Egzoz Atık Isı Geri Kazanımı İçin Termoelektrik Jeneratör Modelinin Geliştirilmesi. *Mühendislik Bilimleri ve Tasarım Dergisi*, 8(2), 582-596.

Wang, Y., Cheng, K., Dang, C., Wang, C., Qin, J. and Huang, H. (2023). Performance and experimental investigation for a novel heat storage based thermoelectric harvester for hypersonic vehicles. *Energy*, 263, 125885.

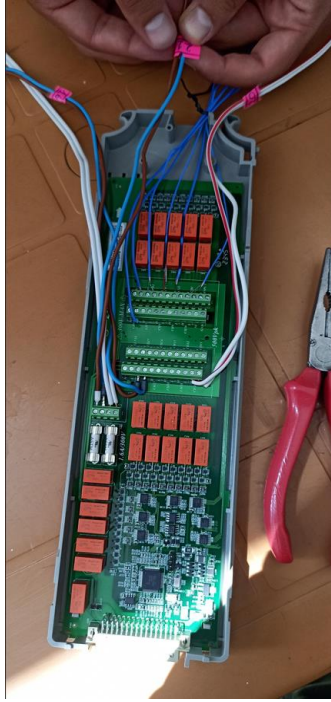
Vale, S., Heber, L., Coelho, P. J. and Silva, C. M. (2017). Parametric study of a thermoelectric generator system for exhaust gas energy recovery in diesel road freight transportation. *Energy conversion and management*, 133, 167-177.

Zhang, Y., Cleary, M., Wang, X., Kempf, N., Schoensee, L., Yang, J. and Meda, L. (2015). High-temperature and high-power-density nanostructured thermoelectric generator for automotive waste heat recovery. *Energy Conversion and Management*, 105, 946-950.

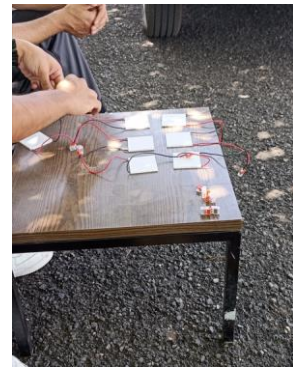
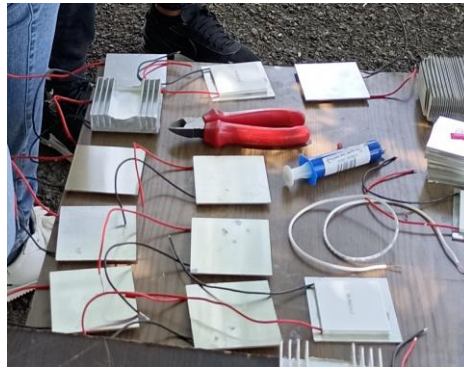
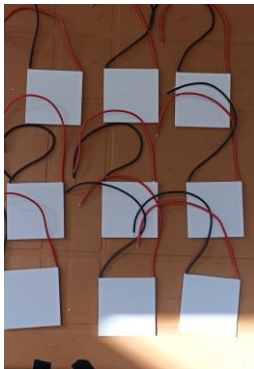
Zheng, L. J., Lim, S., Kim, N.K., Kang, D.H., Youn, Y.J., Lee, W. and Kang, H.W. (2020). Experimental study of a thin water-film evaporative cooling system to enhance the energy conversion efficiency of a thermoelectric device. *Energy* 211, 119040.

EKLER

Ek 1. Sıcaklık Sensörleri ve Elektrik Bağlantıları



Ek 2. TEG sistemi hazırlık aşaması



Ek 3. Deney hazırlık aşamaları



Ek 4. Deney ve Kontrol gurubu diğer örnekler



Ek 5. Doğalgaz Kazan Görüntüleri

